



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**TOMI KEISALA**

FYYSINEN INTERNET. KÄSITTEEN MÄÄRITTELY JA SOVELLUS-  
KOHTEET SUOMESSA. ESISELVITYS TUTKIMUSAVAUSTEN  
POHJAKSI

Diplomityö

Tarkastaja: professori Heikki Liima-  
tainen

Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
24.04.2017



## TIIVISTELMÄ

**TOMI KEISALA:** Fyysinen internet. Käsitteen määrittely ja sovelluskohteet Suomessa. Esiselvitys tutkimusavausten pohjaksi

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 48 sivua

Helmikuu 2018

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Liikenne- ja kuljetusjärjestelmät

Tarkastaja: professori Heikki Liimatainen

Avainsanat: Fyysinen internet, logistiikka, toimitusketju

Logistiikan rooli on tärkeä toimivassa yhteiskunnassa. Logistiikan tehokkuuden on arvioitu olevan globaalisti alhainen ja tavarankuljetusten arvioidaan olevan kasvussa. Perinteiset logistiikan menetelmät eivät pysty enää vastaamaan tulevaisuudessa haasteisiin. Yhtenä ratkaisuna näitä haasteita varten tutkitaan Fyysistä internetiä. Fyysinen internet on käsitteenä suhteellisen uusi, sen syntynä voidaan pitää vuotta 2006. Siitä huolimatta siitä on kirjoitettu tuhansia sivuja teoriaa.

Tämän työn tavoitteena oli selvittää Fyysisen internetin käsite, selvittää sen hyödynnettävyyttä ja analysoida voidaanko sitä hyödyntää Suomessa. Tavoitteen saavuttamiseksi käytettiin pääosin Fyysisestä internetistä julkaistuja artikkeleita, internetlähteitä ja tutkimustuloksia.

Tutkimus toteutettiin kirjallisuusanalyysinä ja kahta simulaatiotutkimusta analysoiden. Tutkimuksessa havaittiin, että Fyysisen internetillä on vahvuuksia verrattuna logistiikan nykytilaan, mutta tällä hetkellä malli sisältää vielä ratkaisemattomia haasteita joiden yli täytyy päästä ja tämä aiheuttaa tarpeen jatkotutkimuksille.

## ABSTRACT

**TOMI KEISALA:** Physical internet. Defining the concept and applications in Finland. Preliminary report for researches  
Tampere University of Technology  
Master of Science Thesis, 48 pages  
February 2018  
Master's Degree Programme in Construction Technology  
Major: Transportation systems  
Examiner: Professor Heikki Liimatainen

**Keywords:** Physical internet, logistics, supply chain management,

Role of logistics is important in functioning society. Efficiency of logistics is estimated to be globally small and amount of freight transport is estimated to increase. Traditional methods of logistics can't respond for the future challenges. The Physical Internet is considered as one of the possible solutions for the challenges. As a concept Physical Internet is relatively new and its birth is considered to be year 2006. Despite all of that there is thousands of pages of theory about the Physical Internet.

The aim of this thesis was to define the concept of the Physical Internet, to find out if it is able to utilize and analyze if it is possible to utilize in Finland. Sources for data were mainly scientific publications, articles and internet sources.

The study was executed as literature study and analyzation of two simulation researches. In this study was observed that the Physical Internet has some advantages over the current state of logistics but it contains challenges that has to be solved before implementation. The subject requires further studies.



## ALKUSANAT

Haluan kiittää ohjaajaani professori Heikki Liimataista jonka ohjaus ja tuki mahdollisti tämän työn valmistumisen. Kiitos myös opiskelu- ja työkavereilleni ja ystäväilleni saamastani tuesta. Tämän työn tekeminen on ollut erityisen opettavaista, mutta myös kokopäivätyön ohella erittäin haastavaa. Tämä työ jäänee viimeiseksi suorituksekseni koulutai-paleellani.

Alussa diplomityötä tuli tehtyä koululla ja työ edistyi suunnitellusti. Yllätyksekseni löysin itseni kuitenkin työskentelemästä Pirkanmaan ELY-keskukselta, josta tämän työn aikana sain myös viran, ja suunnittelemani aikataulu alkoi hieman venymään. Tämän lisäksi tuli tehtyä asuntokaupat ja tämä hidasti omalta osaltaan työn valmistumista. Suurimman kiitoksen tämän työn valmistumisesta ansaitsee perheeni ja erityisesti äitini joka jaksoi uskoa minuun ja jolle tein viimeisenä lupauksena suorittaa diplomityöni loppuun.

Tampereella, 04.03.2018

Tomi Keisala

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Työn tavoite ja tutkimuskysymykset .....	1
1.2	Työn rajaus.....	2
1.3	Työn rakenne .....	2
2.	FYYSINEN INTERNET .....	3
2.1	Tausta.....	3
2.2	Fyysisen internetin teoria.....	5
2.2.1	Fyysiset objektit.....	7
2.2.2	Konttien käsittely.....	14
2.2.3	Logistiikan verkot ja protokollat.....	18
3.	FYYSINEN INTERNET TAPAUSTUTKIMUKSEN AVULLA .....	21
3.1	Tapaukset .....	21
3.1.1	Suunnittelun lähtökohtana Fyysisen internetin malli.....	21
3.1.2	Tapaus 1: Simulation of a physical internet-based transportation network 23	
3.1.3	Tapaus 2: Simulating a physical internet enabled mobility web: the case of mass distribution in France .....	23
3.2	Päätelmät tapaustutkimuksista .....	24
4.	VAIKUTUKSET JA SOVELTAMINEN .....	30
4.1	Vaikutukset, haasteet ja mahdollisuudet.....	30
4.1.1	Vaikutukset .....	30
4.1.2	Haasteet.....	35
4.1.3	Mahdollisuudet ja tulevaisuus .....	37
4.2	Soveltaminen Suomeen.....	42
5.	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	44
	LÄHTEET.....	46

# 1. JOHDANTO

Logistiikka on tärkeä osa toimivassa yhteiskunnassa, sekä yritysten, että myös ihmisten toiminnassa. Maailma globalisoituu jatkuvasti ja se luo sekä mahdollisuuksia, että haasteita logistiikan ja toimitusketjujen hallinnan kannalta. Samalla maailma digitalisoituu vauhdilla. Digitalisaatio luo mahdollisuuden parantaa fyysisten objektien toimitusketjuja uusilla ja innovatiivisilla tavoilla. Yhtenä keinona vastata haasteisiin ja hyödyntää mahdollisuuksia tutkitaan fyysistä internetiä.

Fyysinen internet on käsitteenä melko uusi. Käsitteen alkuna voidaan pitää vuotta 2006, kun Quebecin yliopiston professori Benoit Montreuil alkoi tutkia logistiikan tehostamista digitaalisen internetin periaatteiden mukaan. Sittemmin tutkijajoukko on laajentunut ja lukuisat suuret yritykset ovat alkaneet tukea tutkimusta [1]. Samankaltaisesta nimestään huolimatta Fyysisellä internetillä ei ole juurikaan yhtäläisyyksiä esineiden internetiin (Internet of Things).

## 1.1 Työn tavoite ja tutkimuskysymykset

Tämän diplomityön tarkoituksena on määritellä Fyysinen internet ja tutkia sen vaikutuksia toimitusketjussa. Työssä tutkitaan myös hyödynnettävyyttä Suomessa ja Fyysisen internetin tulevaisuuden näkymiä. Tutkimuksessa pyritään löytämään vastaus tutkimuskysymyksiin:

- Mitä tarkoitetaan Fyysisellä internetillä?
- Mitkä ovat Fyysisen internetin vaikutukset toimitusketjuihin?
- Voidaanko Fyysistä internetiä hyödyntää Suomessa?

Tutkimus toteutetaan pääosin kirjallisuustutkimuksena ja lähdemateriaalina käytetään tieteellisiä artikkeleja ja alan kirjallisuutta ja lisäksi kysymykseen Fyysisen internetin hyödyntämiseen Suomessa. Lisäksi työssä analysoidaan Fyysisestä internetistä tehtyjä simulaatiotutkimuksia. Aiheeseen liittyvää kirjallisuutta tai tutkimuksia ei ole julkaistu vielä juurikaan, joten siksi käytetään valmiita simulaatiotutkimuksia työn tapaustutkimus –osiossa. Fyysisen internetin historiaa ja nykytilaa arvioitaessa käytetään lähdemateriaalina myös lisäksi aihealueeseen liittyviä internet-lähteitä ja muuta julkaistua materiaalia.

## 1.2 Työn rajaus

Työn rajaus tulee julkaistun lähdemateriaalin kielestä ja muuten työtä ei ole tarvetta rajata. Työtä varten lähdemateriaalina käytetään joko suomen- tai englanninkielistä materiaalia. Lähdemateriaali on pääosin tieteellisiä julkaisuja ja internet-lähteitä, jotka ovat usein englanninkielisiä. Lisäksi käytetään suomenkielistä lähdeaineistoa.

## 1.3 Työn rakenne

Luvussa 2 esitellään Fyysisen internetin käsitteeseen liittyvä teoria, käsitteen historia ja nykytila. Lisäksi käsitellään Fyysisen internetin toimitusketjuun vaikuttavat osa-alueet. Luvussa 3 käsitellään Fyysistä internetiä analysoimalla siitä tehtyjä kahta simulaatiotutkimusta. Luku 4 keskittyy käsittelemään Fyysisen internetin vaikutuksia, haasteita ja soveltamista. Lisäksi luvussa käsitellään Fyysisen internetin soveltamista Suomeen. Luku 5 on yhteenveto työn keskeisistä asioista.

## 2. FYYSINEN INTERNET

Perinteisessä logistiikassa, jolla tarkoitetaan logistiikan nykyistä tilaa, esiintyy monia tekijöitä jotka laskevat tehokkuutta ja aiheuttavat ongelmia taloudellisesta, ympäristön kannalta ja sosiaalisesti. Globaalisti logistiikan tehokkuuden on arvioitu olevan noin 10 % [2]. Logistiikan arvioidaan olevan n. 5-15 % haitta bruttokansantuotteeseen. Tavarankuljetuksessa syntyvien kasvihuonekaasujen on arvioitu olevan 15 % luokkaa OECD-valtioissa (Organisation for Economic Co-operation and Development) kokonaispäästöistä. Lisäksi OECD-valtioiden tavarankuljetusten kasvun on arvioitu olevan noin 40 % luokkaa vuodesta 2005 vuoteen 2025 [3]. Perinteisellä logistiikalla niiden laskuun tähtäävät keinot eivät pysty vastaamaan Euroopan unionin päästötavoitteisiin, joka ovat vuoteen 2020 mennessä 20 % ja vuoteen 2050 mennessä 75 % pienennys päästöihin [4]. Yhtenä ongelmana voidaan pitää myös logistiikan kestäväntä rakennetta. Tällä hetkellä logistiikan verkot rakennetaan yritysten tai alan ympärille ja keskinäinen yhteensopivuus on huono. Tämä hajauttaa logistiikkaverkkojen rakenteita ja luo huonon yhteensopivuuden verkkojen välille. Tavarankuljetuksen kasvu yhdessä logistiikkaverkkojen hajaantumisen kanssa luo huonon pohjan logistiikalle tulevaisuuden kannalta. Lähtökohta Fyysisen internetin kehitykselle on varastoinnin, kuljetusten, tuotannon ja jakelun tehottomuus ja kestäättömyys.

### 2.1 Tausta

Fyysinen internet nousi terminä ensimmäisen kerran suuremman yleisön tietoisuuteen vuoden 2006 kesäkuun 17. päivä The Economistin artikkelin myötä. Artikkelin kattoi vain normaaleja logistiikan operaatioita, mutta termi inspiroi professori Benoit Montreuilia käyttämään termiä visiostaan digitaalisen internetin työkaluin logistiikan parantamiseen. Montreuil, Ballot ja Meller määrittelevät Fyysisen internetin kirjassaan The Physical Internet siten että Fyysinen internet on globaali logistiikan järjestelmä, joka perustuu logistiikan verkkojen yhteensopivuuteen, standardoituihin protokoliin, modulaarisiin kontteihin ja älykkäisiin käyttöliittymiin tehokkuuden ja kestävyuden tehostamiseksi. [5]

Montreuil julkaisi vuonna 2012 Fyysiseen internetiin keskittyvillä verkkosivuilla [www.physicalinternetinitiative.org](http://www.physicalinternetinitiative.org) julkaisun Physical Internet Manifesto, jossa määritellään kolmentoista pääkohdan avulla nykytilan epäkohtia ja niistä johtuvia oireita. Julkaisun kolmetoista pääkohtaa ovat [6]:

1. Tyhjätila pakkauksissa ja kuljetuksissa
2. Tyhjänä ajo
3. Kuljettajien sosiaalinen asema
4. Tuotteiden makuuttaminen varastoissa

5. Tuotannon ja varastoinnin tehoton käyttö
6. Hukka
7. Tuotteet eivät saavuta niitä tarvitsevia
8. Turhat kuljetusmatkat
9. Multimodaalinen kuljettaminen ei toteudu
10. Tuotteiden kuljetus kaupunkeihin ja kaupungeista on hankalaa
11. Logistiset verkot ja toimitusketjut eivät ole turvallisia tai vakaita
12. Älykäs automaatio ja teknologia ei ole toimivaa
13. Innovoinnin ongelmat.

Ensimmäinen pääkohta pohjautuu siihen, että kontit ja pakkaukset sisältävät paljon tyhjätilaa. Physical Internet Manifesto– julkaisun mukaan kuljetukset ovat kapasiteetistaan vain 56,8 prosenttisesti täynnä, kun ne eivät ole tyhjänä. Tilaston mukaan Euroopassa alle 3500 kg painavien kuljetusajoneuvojen on todettu olevan keskimäärin täyttöasteeltaan vain 50- 60 % välissä [5]. Epäkohtana logistiikassa voidaan pitää myös painon mukaan määräytyvää hintaa, joka johtaa usein tehottomaan pakkaamiseen ja tyhjän tilan kuljettamiseen. Toinen pääkohta keskittyy paluukuljetuksissa tapahtuvaan tyhjänä ajoon. Julkaisussa esitetyn tilaston mukaan neljäsosa paluukuljetuksista tapahtuu kuorman kanssa. Ongelmana voidaan pitää myös ylimääräinen kuljetettu matka paluukuorman kyytiin saamiseksi. Kolmas kohta keskittyy kuljettajien sosiaaliseen asemaan. Pitkät kuljetusmatkat heikentävät kuljettajien sosiaalista elämää, vaikuttavat perhe-elämään ja terveyteen. Neljännessä pääkohdassa todetaan valmistajien, jakelijoiden ja jälleenmyyjien tuotteita markkaa toimitusketjun eri osissa tuottamatta arvoa. Pääkohta 5 toteaa tuotantolaitosten ja varastojen huonon hyödyntämisen ja näiden tuottaman ylimääräisen kuljetuksen tarpeen. Kuudes pääkohta käsittelee tuotteiden hukkaa kuljetuksen ja jälleenmyynnin aikana. Pääkohta 7 epäkohtana todetaan, että tuotteet eivät saavuta niitä tarvitsevia. Ongelma on suurempi vähemmän kehittyneissä maissa ja kriisialueilla. Pääkohta 8 toteaa että tuotteita kuljetetaan tuhansia kilometrejä valmistamisen tai kokoonpanon takia. Pääkohdan 9 epäkohtana on multimodaalisten kuljetusten huono toimivuus. Multimodaalisten kuljetusten todetaan olevan usein ajan ja kustannusten suhteen tehottomia ja sisältävän riskejä. Pääkohdassa 10 todetaan kuljetusten kaupunkeihin ja ulos kaupungeista olevan ongelmallisia kaupunkien rakenteen vuoksi. Pääkohdassa 11 todetaan logististen verkkojen ja kuljetusketjujen olevan turvattomia ja rakenteellisesti epävarmoja. Tuotteiden kuljetusten todetaan tapahtuvan vilkkaasti liikennöityjä reittejä pitkin, jotka ovat alttiita luonnonkatastrofeille, terrorismille ja ryöstöille. Pääkohdan 12 epäkohtana on älykkään automaation ja teknologian hyödyntämiseen liittyvät ongelmat monimutkaisissa tuotantoprosesseissa. Viimeisessä pääkohdassa 13 todetaan innovoinnin pullonkaulan olevan standardien, protokolien, läpinäkyvyyden, modulaarisuuden ja avoimen infrastruktuurin puutteessa. Näiden puute tekee innovaatioiden läpilyömiseen vaikeaksi.

Näiden pääkohtien seuraukset voivat olla taloudellisia, ympäristöön vaikuttavia tai sosiaalisesti vaikuttavia. Näiden pääkohtien ongelmat ja epäkohdat toimitusketjuissa toimivat lähtökohtana Fyysisen internetin kehittämiseen.

## 2.2 Fyysisen internetin teoria

Fyysisen internetin lähtökohtana on luoda järjestelmä joka vaikuttaa siihen miten kuljetetaan, varastoidaan, liikutetaan ja käytetään fyysisiä objekteja globaalisti niin, että se on taloudellisesti, ympäristön kannalta ja sosiaalisesti tehokasta ja kestäväällä pohjalla. [6] Taloudellisena päämääränä järjestelmällä on laskea logistiikan vaikutusta bruttokansantuotteeseen ja nostaa tuottavuutta vaikuttamalla edellisessä kappaleessa listattuun kolmeentoista nykytilan epäkohtaan.

Vastauksena näihin kolmeentoista nykytilan ongelmaan, Fyysisen internetin keinovalikoima muuttaa tapaa miten objekteja kuljetetaan, käsitellään, varastoidaan, jaetaan ja realisoidaan voidaan ilmaista vastaavasti kolmentoista pääkohdan avulla: [2]

1. Tavaroiden pakkaaminen standardoituihin ja modulaarisiin älykontteihin
2. Universaali yhteenliitettävyys
3. Materiaalin käsittelystä Fyysisen internetin konseptin mukaisten konttien käsitteelyyn ja varastointiin
4. Älykonttien verkottaminen
5. Hajautuneen nykylogistiikan kehittäminen monisegmenttiseksi ja intermodaaliseksi
6. Yhtenäisen monitasoisuuden hyödyntäminen
7. Kuljetusketjujen muuttaminen avoimiksi ja yhteisiksi
8. Kuljetettavien tuotteiden suunnittelu standardoituihin pakkauksiin sopiviksi
9. Tiedon hyödyntämisen avulla minimoidaan kuljetusta ja varastointia
10. Avoin suorituskvyn arvioinnin sertifiointi
11. Priorisoidaan verkkojen luotettavuuteen ja kestävyys
12. Edistetään liiketoiminnan innovointia
13. Mahdollistetaan infrastruktuurin avoin innovointi

Nämä pääkohdat vastaavat suoraan kappaleessa 2.1 esitettyihin kolmeentoista pääongelmakohtaan suoraan ja perustelevat sekä ongelmakohdan, että vastauksen. Ensimmäisen pääkohdan ideana on tiedon ja tavaroiden pakkaaminen ja siirtäminen. Pakkauksen tunnisteen tulisi sisältää kaiken tarpeellisen informaation siitä että mitä pakkaus sisältää, minne se on menossa ja reitityksestä kohteeseen. Analogia tälle voisi olla datapaketin siirtyminen kohteeseensa. Pakattua dataa siirretään häviöttömästi paikasta toiseen niin että se pakataan ensin, siirretään optimoitua reittiä kohteeseen ja puretaan sitten häviöttömästi. Paketti sisältää kaiken tarpeellisen informaation määränpäästään ja pakkauksen purkamisesta. Ideana Fyysisen internetin kohdalla on, että kaikki laitteet osaavat käsitellä siihen liittyvää dataa.

Itse pakkauksissa tulisi olla tarjontaa erilaisissa pakkauskoissa. Pakkaukset ovat modulaarisia ja ne voidaan pakata aina niin että pienempi mahtuu isomman sisään. Pakkaukset tulisi myös suunnitella niin että ne ovat helppoja käsitellä jokaisessa kuljetusketjun eri vaiheessa aina pakkaamisesta purkamiseen. Ideana on myös että materiaalin käyttöä optimoidaan niin että pakkaus suojaa tuotetta riittävän hyvin ja vähentää tuotteen suojaamiseen käytettävän materiaalin määrää. Pakkaukset ja kontit voidaan myös varustaa sineiteillä, lämmönsäätimillä ja muokata erilaisiin käyttötarpeisiin.

Toinen pääkohta keskittyy yhteenliitettävyyteen. On tärkeää että jokainen osa-alue on yhteenliitettävä ja toimii samojen protokolien avulla, jotta järjestelmästä saadaan halpa, nopea ja luotettava.

Kolmannessa pääkohdassa ideana on, että siirrytään materiaalien ja tuotteiden käsittelystä Fyysisen internetin pakkausten käsittelyyn. Näin voidaan lisätä automaation määrää ja yhdenmukaistaa järjestelmiä pakkausten ja konttien liikutteluun.

Neljäs pääkohta keskittyy älypakkausten ja –konttien verkottamiseen. Verkottamisen avulla yksittäisenkin pakkauksen tai kontin liikkumista on helppo seurata ja jokaista sille suoritettua toimintoa voidaan vertailla ja valvoa. Verkottaminen myös mahdollistaa tehokkaamman automaation hyödyntämisen käsittelyssä. Negatiivisena puolena Internetiin kytkeminen mahdollistaa myös hakkeroinnin.

Viidennessä pääkohdan avulla pyritään kehittämään kuljetusketjua ajatukseen monisegmenttisistä intermodaalikuljetuksista, siten että yksittäisen kuljettajan kuormaa vähennetään ja jaetaan useampaan kuljetustapahtumaan. Dynaamisella reitinlaskennalla varmistetaan optimoitu saapuminen kohteeseen ja vähennetään pakkauksen tai kontin odottamisaikoja.

Kuudennen kohdan ideana on luoda eri tasoilla toimivia verkkoja jotka toimivat Fyysisen internetin protokolien ja standardien mukaan. Verkot kattavat erilaisia aluekokonaisuuksia ja ovat siksi tasoilla. Aluekokonaisuudet vaihtelevat esimerkiksi alueellisten rajojen tai erilaisten kuljetusympäristöjen mukaan.

Seitsemännen kohdan ideana on logistiikan avaaminen siten, että Fyysisen internetin mukaisia varastoja, jakelukeskuksia ja muita kuljetusketjun osia voidaan käyttää kaikkien toimijoiden puolesta. Yhtenäiset standardit ja protokolat takaavat tasapuolisen käsittelyn.

Pääkohdassa kahdeksan puhutaan tuotteiden suunnittelusta niin että ne mahtuvat Fyysisen internetin pakkauksiin siten että voidaan käyttää mahdollisimman pientä pakkausta ja optimoida tilankäyttöä. Ideana on myös muuttaa tuotantoa siten, että kokoonpanoa tarvittaessa siirretään lähemmäs määräpaikkaa ja tarvittaessa osat voidaan kuljettaa kokoonpanopaikkaan.



Yhdeksännessä pääkohdassa puhutaan tiedon ja fyysisten objektien siirtämisestä. Tarkoitus on, että tietoa ja osaamista siirretään kauempaa määräpaikasta ja laajan osaamisen omaavat tuotantokeskukset lähempänä määräpaikkaa hoitavat valmistuksen, kokoonpanon, viimeistelyn ja kustomoinnin.

Kymmenennessä pääkohdassa ideana on luoda avoin suorituskkyä mittaava järjestelmä, jonka avulla on mahdollista arvioida läpimenoaikoja, palvelutasoa, luotettavuutta ja turvallisuutta reaaliajassa. Sertifioinnilla varmistetaan että Fyysisen internetin osa-alueet vastaavat niille asetettuja suorituskkyvaatimuksia.

Pääkohdassa yksitoista Fyysisen internetin teorian mukaan on tärkeää turvata verkkojen toimivuus toiminnan varmistamiseksi. Verkkojen toimintavarmuudella tarkoitetaan että yksi osa kokonaisuudesta ei ole korvaamaton, vaan se voidaan kiertää automaattisesti.

Kahdennessatoista pääkohdassa keskitytään liiketoiminnan innovointiin. Vastaavasti kuin esineiden internet on luonut lukuisia uusia mahdollisuuksia uusille ja innovatiivisille liiketoimintamalleille, olisi tärkeää että Fyysinen internet tarjoaisi saman mahdollisuuden.

Viimeisessä pääkohdassa painotetaan innovointia infrastruktuurin näkökulmasta. Varmistaakseen yhteenliitettävyyden, olisi avoimen ja läpinäkyvän infrastruktuurin ylläpitäminen tärkeää.

Fyysisen internetin on tarkoitus tehostaa nykytilan logistiikan ja toimitusketjun ongelmia monella eri keinolla ja Fyysisen internetin osa-alueet voidaankin jakaa tämän keinovalikoiman vaikutusalueiden mukaan. Vaikutusalueissa on sekä tietoon, että fyysiseen kuljettamiseen liittyviä parannusideoita jotka jo yksittäin tarkasteltuna omaavat potentiaalia vaikuttaa positiivisesti oman osa-alueensa toiminnan kehittymiseen. Kokonaisuutena Fyysisen internetin idea on teorian tasolla mullistava ja vaatisi kokonaisena konseptina käyttöönotettaessa logistiikan järjestelmien uudelleenrakentamista.

### **2.2.1 Fyysiset objektit**

Nykyisellään logistiikassa käsitellään objekteja, jotka poikkeavat hyvin paljon toisistaan fyysisiltä mitoiltaan. Tämä aiheuttaa tehokasta pakkaamista ja kuljettamista ajatellen haasteita. Yhtenä haasteena voidaan pitää myös erilaisten kuljetusmuotojen yhteensopivuutta. Tie-, rautatie-, vesi- ja ilmakuljetuksissa käytetään hyvin erilaisia pakkaustapoja optimoimaan kuljetuskapasiteetin hyödyntämistä ja nämä pakkaustavat vaativat usein uudelleenjärjestelyä kuljetustavan muuttuessa, mikä kuluttaa resursseja, lisää kuljetukseen käytettävää aikaa ja altistaa ylimääräisen käsittelyn kautta isommalle riskille kuljetuksen aikaisille vaurioille. [7]

Fyysisen internetin teorian kolmentoista pääkohdan kohdasta kolme keskittyy pakkaukseen ja kontteihin. Pakkauksia, kontteja ja niiden kuljettamista verrataan datapaketteihin ja niiden siirtämiseen. Ideana on tuotteiden pakkaaminen niin, että niitä ei logistiikan nykymallin mukaisesti ole tarvetta purkaa kuljetuksen aikana. Fyysisen internetin malli pyrkii muuttamaan toimintamalleja melko radikaalisti. Teorian mukaan pakkaaminen ja kuljettaminen nykytilassa voidaan kuvata eri asteiden avulla kuvan 1 mukaisesti viidellä asteella. Pakkaamisen tarve ja aste riippuu tuotteesta, kuljetustarpeesta ja muista tekijöistä kuten varastoinnista, käsittelytarpeesta, kuljetusolosuhteista, pakkaamista säätelevästä lainsäädännöstä ja asiakkaan tarpeista. Esimerkiksi paperirullien pakkaus- ja kuljetustarve paperitehtaan tuotannosta yritysasiakkaalle eroaa hyvin paljon päivittäistavarakauden kuluttajatuotteiden pakkaus- ja kuljetustarpeesta asiakkaalleen. [2]

### Nykymalli

Pakkaamisen aste	
Tuote	0
Yksittäinen pakkaus	1
Ryhmäpakkaus	2
lavakuorma	3
Kontti	4
Kuljetuksessa	5

**Kuva 1.** Tuotteiden pakkaaminen kuljetukseen. Muokattu lähteestä [2]

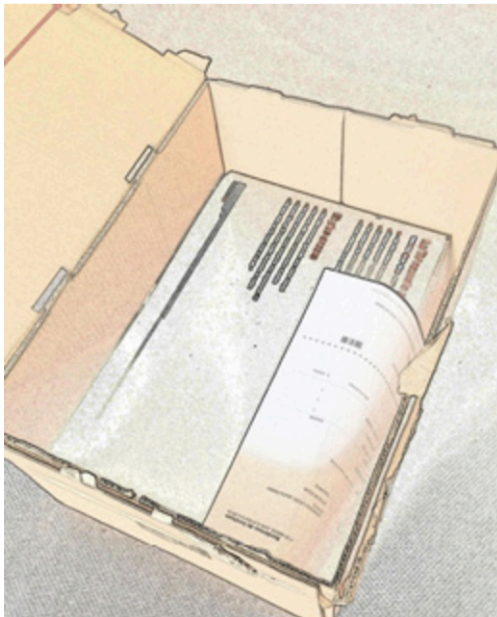
Ensimmäisen asteen pakkaamisella tarkoitetaan tuotteen pakkaamista tuotepakkaukseen ja vastaavasti asteen nolla pakkaaminen tarkoittaa tuotetta ilman pakkausta. Tuotepakkaus on pakkaus johon useimmiten tuote pakataan jo tuotantolinjalla ja se kulkee sieltä aina loppukäyttäjälle asti. Tuotepakkauksen ominaisuudet riippuvat paitsi myös tuotteen ominaisuuksista ja tarpeista, myös markkinoinnin tarpeista. Suunnittelun lähtökohdat saattavat olla erilaiset riippuen siitä onko tuote suunnattu kuluttajille vai ammattikäyttöön. Tuotepakkaukselle on tärkeää myös suojata tuotteita vaurioilta, mahdollistaa tuotteen tehokäsittely ja varastointi mutta lopputulema on usein kompromissi muiden arvojen ja logistiikan kannalta tehokkaan tuotepakkauksen väliltä. [8]



**Kuva 2.** Kuvassa vasemmalla peliohjaimen myyntipakkaus ja oikealla ohjain.  
Muokattu lähteestä [9]

Kuvassa 2 on kuvan vasemmalla puolella Xbox 360 peliohjain tuotepakkauksessaan ja oikealla puolella varsinainen peliohjain. Tuotepakkauksen suunnittelun lähtökohdan prioriteetit ovat todennäköisesti olleet muissa tekijöissä kuin logistiikan kannalta tärkeissä asioissa.

Toisen asteen pakkaamisella viitataan siihen että tuotepakkaukset pakataan ryhmäpakkauksiin kuten esimerkiksi maitotölkit kuljetuslaatikoihin. Kuljetuslaatikko on uudelleenkäytettävä. Kuljetuslaatikoita voidaan kasata täytenä päällekkäin ja ne siten ovat melko tehokkaita käsitellä ja kuljettaa. Erilaiset tuotteet vaativat myös omanlaisensa kuljetuslaatikon tai ryhmäpakkauksen tehokkaaseen käsittelyyn ja kuljettamiseen, ja tämä aiheuttaa hajontaa eri toimintaympäristöjen välille. Kuvassa 3 on havainnollistettu toisen asteen pakkaamista ja sen tehottomuutta laatikon ja sen sisällä olevan kappale-tavaran avulla. [5]



**Kuva 3.** Toisen asteen pakkaamisen tehottomuus nykytilan logistiikassa. Muokattu lähteestä [5]

Kolmannen asteen pakkaamisella tarkoitetaan edellisen asteen pakkaamista kuormalavoille, rullakkoihin tai vastaaviin kuljetusyksikköihin. Tuotteet tai kuljetuslaatikot voidaan asetella lavalle, häkkiin, rullakkoon tai muuhun vastaavaan, ja sen jälkeen mahdollisesti suojata ja paketoida. Koska pakkaus- ja kuljetustarpeet eroavat, on häkkejä, kuormalavoja ja rullakkoja erikokoisia. Kuvassa 4 on esitetty kolmannen pakkausasteen kuormalava, johon on aseteltu pakkauslaatikoita ja puoliautomaattinen käärintäkone on juuri suorittamassa kelmutusta. [5]



**Kuva 4.** Kuormalava käärintäkoneella. Muokattu lähteestä [10]

Kolmannen asteen pakkaamisen jälkeen viimeistään pakkauksen käsittely vaatii enemmän voimaa, ja kuormalavojen ja häkkien kohdalla käytetään liikuttamiseen niidenkäsittelyyn tarkoitettuja apuvälineitä. Rullakkojen etu on helppo liikuteltavuus pyörien ansiosta. Osa kuormalavoista, häkit ja rullakot on tarkoitettu palautettaviksi ja uudelleen käytettäviksi.



**Kuva 5.** Kolmannen pakkausasteen kuormalavat puoliperävaunuun lastattuna. Tuoksena tyhjättilaa. Muokattu lähteestä [5]

Neljännän asteen pakkaamisella tarkoitetaan suuryksikköjä kuten rahtikontteja. Rahtikontit ovat monikäyttöisiä varastoinnin, kuljettamisen ja pakkaamisen kannalta. Ne kestävät hyvin vaikeitakin olosuhteita, niitä voidaan pinota ja käsitellä helposti ja niitä voidaan kuljettaa eri kuljetusmuodoilla. Suurin osa meriliikenteessä kuljetettavasti kappale-tavarasta kulkee rahtikonteissa. [11]



**Kuva 6.** Meriliikenteeseen tarkoitettu 20 jalan rahtikontti. Muokattu lähteestä [12]

Viidennen asteen pakkaamisella tarkoitetaan tuotteiden pakkaamista kuljetuksen kyytiin. Pakattava tuote voi olla ilman pakkausta tai pakattuna. Esimerkkinä tämän asteen pak-

kaamisesta voidaan pitää paperirullien tai henkilöauton kuljettamista. Paperirullat pakataan useimmiten tuotepakkaukseen, sillä se suojaa paperirullaa. Henkilöautot taas voidaan siirtää siihen suunnitellun yhdistelmän kyydissä ilman varsinaista tuotepakkausta. [5]



**Kuva 7.** Paperirullat lastattuna kuorma-auton kyytiin. Muokattu lähteestä [13]

### Fyysisen internetin malli

Fyysisen internetin malli pyrkii muuttamaan edellä kuvattua pakkaamisen ja kuljettamisen nykytilaa niin, että pakkaaminen voitaisiin toteuttaa kolmen asteen avulla nykyisen neljän sijaan. Ideana tässä on, että sen sijaan että logistiikassa käsitellään tuotteita tai materiaaleja, siirrytään käsittelemään Fyysisen internetin kolmannen pääkohdan mukaisesti standardoituja kontteja, joihin tuotteet pakataan. Yleisesti Fyysisen internetin teorian mukaisista konteista voidaan käyttää termiä  $\pi$ -kontti. [5]

$\Pi$ -konttien on tarkoitus olla helppoja käsitellä, varastoida ja kuljettaa. Ne tulee valmistaa ympäristöystävällisistä materiaaleista ja tarvittavan materiaalin määrä tulee minimoida. Saatavilla tulee olla myös mahdollisuus sinetöintiin ja lämmönsäätelyyn. Kaikki  $\pi$ -kontit tulee varustaa älykkäällä etiketillä ja ne ovat modulaarisia.  $\Pi$ -kontit voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan toiminnallisuutensa puolesta jotka ovat P-, H- ja T-kontti. [2]

P-kontti termi tulee sanoista ”packaging container” ja sillä tarkoitetaan pakkauskonttia. Synonyyminä voidaan käyttää myös termiä  $\pi$ -pakkaus. Toiminnallisuuden kannalta se on tarkoitus olla vastaava kuin nykyään tuotetta suojaava tuotepakkaus ja siten sen on tarkoitus olla tuotetta ostavalle näkyvä pakkaus. Sen ei ole tarkoitus olla erityisen peittävä tai tuotetta visuaalisesti suojaava, vaan P-konttia on tarkoitus käyttää, kun tarve tuotteen yksityisyyden suojaamiseen on pieni, tuotteen suojaamiseen ei tarvita vahvaa suojaa ja kun tarve käsittelyn nopeudelle ja –tehokkuudelle on suuri. P-kontteja, tai  $\pi$ -pakkauksia

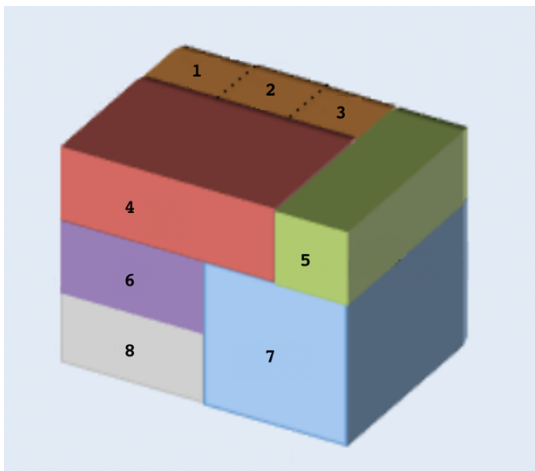


voidaan kasata H-kontin sisälle tehokkaasti modulaarisuutensa ansiosta ja näin vähentää tyhjätilaa. [2] Kuvassa 8 on kuvattuna  $\pi$ -pakkauksia jotka muistuttavat nykyisiä myyntipakkauksia.



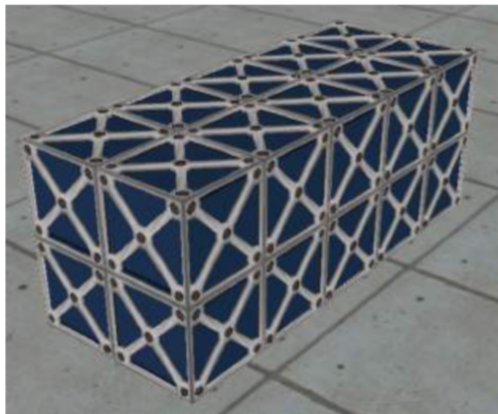
**Kuva 8.** *Fyysisen internetin teorian mukainen  $\pi$ -pakkaus. Muokattu lähteestä [5]*

H-kontti saa nimensä termistä handling-container ja se vastaa toiminnallisuudeltaan perinteisen logistiikan asteen kolme pakkaamista. H-konttia voidaan kutsua termillä  $\pi$ -laatikko.  $\Pi$ -laatikot on suunniteltu mahtumaan T-konttien sisään ja siksi ne voidaan suunnitella rakenteeltaan kevyeksi. Tarkoitus on että  $\pi$ -laatikko voi koostua useasta erikokoisesta  $\pi$ -laatikon osasta ja ne modulaarisuuden ja yhteenlukkiutuvuutensa ansiosta voidaan kasata yhdeksi kokonaisuudeksi. Kuvassa 8 on kuvattu  $\pi$ -laatikko. Laatikko koostuu yhdeksästä  $\pi$ -laatikosta siten että ne muodostavat yhden kokonaisen T-konttiin mitoitettun  $\pi$ -laatikon. Kuvan 9 mukaisesti  $\pi$ -laatikko voidaan koostaa erilaisista osista ja variaatioita on lukuisia modulaarisuuden ansiosta. [2]



**Kuva 9.** *Fyysisen internetin teorian mukainen modulaarinen  $\pi$ -laatikko. Muokattu lähteestä [2]*

T-kontti taas vastaa nykytilanteessa kuvatun viidennen asteen pakkaamista ja T-kontista voidaan käyttää tämän vuoksi termiä  $\pi$ -kontti.  $\Pi$ -kontin ominaisuuksiin  $\pi$ -pakkaukseen ja  $\pi$ -laatikkoon nähden on suunniteltu kuuluvan hyvä säänkesto ja suojaava rakenne. Kuten muitakin Fyysisen internetin pakkauksia,  $\pi$ -konttejakin voidaan kasata päällekkäin. Tällä hetkellä suunnitteilla on että  $\pi$ -kontteja olisi 18 eri kokoista mallia. Kuvassa 10 on kuvattuna modulaarinen  $\pi$ -kontti. [5]



**Kuva 10.** *Fyysisen internetin teorian mukainen  $\pi$ -kontti. Muokattu lähteestä: [6]*

### 2.2.2 Konttien käsittely

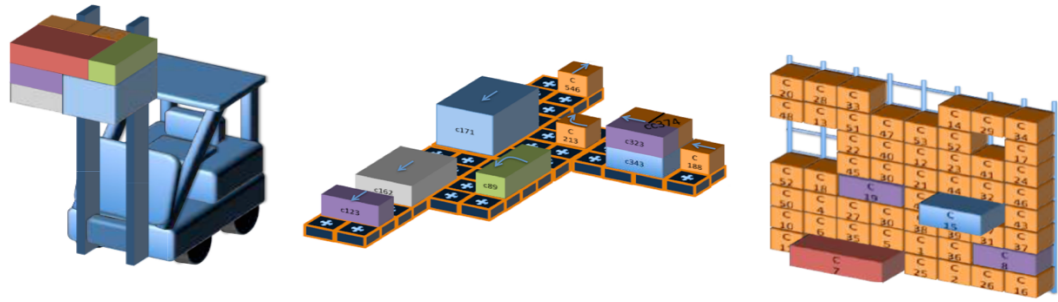
Konttien avulla toimiva intermodaalikuljetukset mahdollisuus on merkittävä logistiikan tehokkuuden kannalta. Kontit mahdollistavat kappaletavaran lähettämisen globaalisti. Tällä hetkellä muuta logistiikkaa voidaan pitää melko hajautuneena ja erikoistuneena tietylle tuotteelle tai tuoteryhmille. Fyysinen internet pyrkii muuttamaan erikoistuneen logistiikan muodostamia verkkoja tehokkuuden parantamiseksi. Fyysisen internetin teorian mukaan kaikki kuljetukset voidaan hoitaa edellisen kappaleen kolmen kontin avulla. Kontteja on tarkoitus pystyä käsittelemään tehokkaammin koska modulaarisia kontteja voidaan pilkkoa pienemmiksi tai yhdistellä kuljetukselle optimaalisella tavalla. Modulaaristen ja yhteensopivien konttien avulla voidaan tehostaa myös käsittelyn lisäksi reititystä, varastoimista ja kuljettamista. [3] Taulukossa 1 on esitetty Fyysisen internetin objekteihin liittyvät pääelementit. Pääelementtejä ovat  $\pi$ -kontit,  $\pi$ -solmut ja  $\pi$ -liikuttelijat.



**Taulukko 1.** *Fyysisen internetin fyysiset pääelementit. Muokattu lähteestä [3]*

$\Pi$ -kontit	$\Pi$ -solmut	$\Pi$ -liikuttelijat
<b>Modulaariset mitat (m):</b>	$\Pi$ -keskus	$\Pi$ -ajoneuvot:
<b>0,12</b>	$\Pi$ -laitos	$\Pi$ -laiva
<b>0,24</b>	$\Pi$ -järjestelmä:	$\Pi$ -veturi
<b>0,36</b>	$\Pi$ -kuljetus	$\Pi$ -lentokone
<b>0,48</b>	$\Pi$ -lajittelija	$\Pi$ -robotti
<b>0,6</b>	$\Pi$ -kokooja	$\Pi$ -kuorma-auto
<b>1,2</b>	$\Pi$ -varasto	$\Pi$ -kuljetusväline:
<b>2,4</b>	$\Pi$ -hubi	$\Pi$ -perävaunu
<b>3,6</b>	$\Pi$ -jakelija	$\Pi$ -hinaaja
<b>4,8</b>	$\Pi$ -kytkin	$\Pi$ -rautatievaunu
<b>6</b>	$\Pi$ -silta	$\Pi$ -kuljetin
<b>12</b>	$\Pi$ -portti	$\Pi$ -käsittelijä

Konttien käsittelyä ja varastoimista on tarkoitus tehostaa uudistamalla näihin liittyviä laitteita Taulukon 1 mukaan  $\pi$ -liikuttelijoilla. Tarkoitus on, että  $\pi$ -kontteja voitaisiin kuljettaa sekä kumipyörillä, vesillä, rautatietä pitkin ja ilmassa. Kaikkia näitä eri kuljetusmuodoilla tapahtuvia kuljetuksia kutsutaan termillä  $\pi$ -kuljetus ja niitä kuljetetaan  $\pi$ -ajoneuvon ja/tai  $\pi$ -kuljetusvälineen avulla. Kontteja on tarkoitus pystyä käsittelemään materiaalinkäsittelykoneilla jotka soveltuvat niille nykyisiä paremmin. Niitä kutsutaan  $\pi$ -käsittelijöiksi. Kuljettamista käytetään termiä  $\pi$ -kuljetin. Fyysisen internetin pakkausten varastoimiseen käytettäisiin termiä  $\pi$ -varasto. Kaikkien näiden teknisen rakenteen olisi tarkoitus soveltua Fyysisen internetin konttien käsittelyyn mutta tarkempia yksityiskohtia ei ole vielä tiedossa eikä julkaistu tähän päivään mennessä (14.11.2017). [6] Kuvassa 11 on kuvattu vasemmanpuoleisimpana  $\pi$ -käsittelijä, joka on päältäajettavan vastapainotrukkia alustanaan käyttävä, mutta  $\pi$ -konttien käsittelyyn tarvittavalla laitteistolla varustettu  $\pi$ -liikuttelija. Kuvassa keskellä taas on modulaaristen  $\pi$ -laatikoiden kuljettamiseen tarkoitettu  $\pi$ -kuljetin ja oikeanpuoleisimpana niiden varastoimiseen tarkoitettu  $\pi$ -varasto.

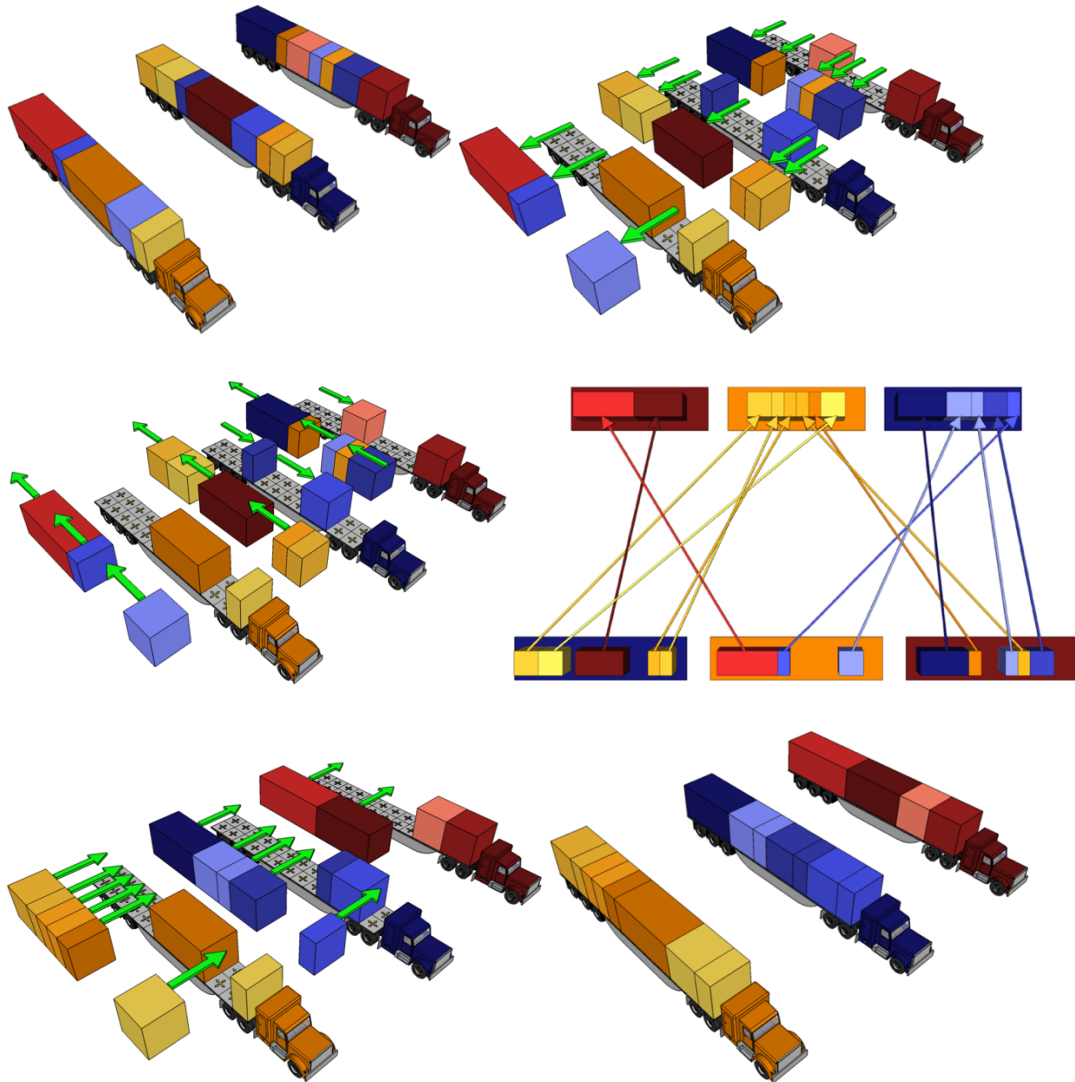


**Kuva 11.** Kuvassa vasemmalla  $\pi$ -käsittelijä, keskellä  $\pi$ -kuljetin ja oikealla  $\pi$ -varasto. Muokattu lähteestä [6]

Fyysisen internetin  $\pi$ -konttien käsittelyn suorittamiseen on suunniteltu erityisiä logistia solmukohtia, joita kutsutaan termillä  $\pi$ -solmu.  $\Pi$ -solmut ovat kohteita joissa suoritetaan Fyysisen internetin logistisia toimintoja. Näillä  $\pi$ -solmuilla voidaan viitata  $\pi$ -keskuksiin,  $\pi$ -laitoksiin tai  $\pi$ -järjestelmän osiin.  $\Pi$ -solmut ovat yleistettynä paikkoja joissa on tarkoitus mahdollistaa  $\pi$ -kontteihin kohdistuvia toimintoja, kuten niiden vastaanotto, testaus, etiketöinti, kasaus, siirtäminen, reititys, kokoon taittaminen, käsittely, varastointi ja lähetys.  $\Pi$ -solmut on määrä suunnitella niin, että  $\pi$ -konttien käsittely on nopeata, halpaa, turvallista ja varmaa. Tarkoitus on että  $\pi$ -solmut voidaan arvioida julkisesti niiden pääominaisuuksiensa, kuten nopeuden, palvelutason, millaisia kontteja pystytään käsittelemään, kapasiteetin, modulaarisuutensa ja viipymisajan mukaan. [6]

$\Pi$ -solmut voidaan jakaa kolmeen kategoriaan Taulukon 1 mukaisesti ja niitä ovat  $\pi$ -keskus,  $\pi$ -laitos ja  $\pi$ -järjestelmä.  $\Pi$ -sijaintipaikalla viitataan  $\pi$ -laitokseen, jossa on myös ulkoinen  $\pi$ -järjestelmä.  $\Pi$ -laitos taas sisältää sisäisen  $\pi$ -järjestelmän. Taulukossa 1 on eritelty erilaisia  $\pi$ -järjestelmän osia. Niille on ominaista että ne ovat erikoistuneet johonkin toimintoon. Tällaisia erikoistuneita toimintoja jo lueteltujen ohessa ovat  $\pi$ -kytkimet,  $\pi$ -sillat,  $\pi$ -keskukset,  $\pi$ -lajittelijat,  $\pi$ -portit ja  $\pi$ -kokoojat.  $\Pi$ -kytkimet ovat erikoistuneet ko koamaan saapuvan tai useamman saapuvan  $\pi$ -kuljetuksen  $\pi$ -kontit lähtevään  $\pi$ -kuljetukseen.  $\Pi$ -silta on vastaava kuin  $\pi$ -kytkin, ainoana erona että se siirtää saapuvan  $\pi$ -kuljetuksen  $\pi$ -kontit sellaisenaan lähtevään  $\pi$ -kuljetukseen. Näissä käytetään samaa kuljetustapaa saapuvien ja lähtevien  $\pi$ -konttien kuljettamiseen. Kun kyseessä on intermodaalikuljetus vastaavien toimintojen kohdalla, käytetään termiä  $\pi$ -hubi.  $\Pi$ -hubin ideana on yhdistää tehokkaasti eri kuljetusmuodot.  $\Pi$ -lajittelijalla tarkoitetaan  $\pi$ -solmua johon saapuu sisään  $\pi$ -kontteja jossa ne lajitellaan ja lähetetään kukin määrättyyn kohteeseensa.  $\Pi$ -lajittelija saattaa sijaita suuremman kokonaisuuden sisällä ja hyödyntää toimintaansa  $\pi$ -kuljettimia. Nimensä mukaisesti tehtävänä on  $\pi$ -kokoojan koota tai purkaa tarkoituksenmukainen kokonaisuus  $\pi$ -konteista konttien yhteenliitettävyyttä ja modulaarisuutta hyödyntäen.  $\Pi$ -portin on tarkoitus toimia Fyysisen internetin ja siihen kuulumattomien järjestelmien välillä niin, että  $\pi$ -portissa tapahtuvat tarvittavat toimenpiteet mahdollistamaan sekä Fyysisen siirto, että tiedon siirtyminen. [8]

Kuvassa 12 on havainnollistettu vaihe vaiheelta logistista toimintaa  $\pi$ -keskuksessa. Kuvassa vasemmalla yläalaidassa  $\pi$ -perävaunun kyydissä  $\pi$ -kytkimeen saapuu erikokoisia  $\pi$ -kontteja. Oikealla yläalaidassa osa  $\pi$ -konteista puretaan autojen kyydistä uudelleenjärjestelyä varten. Kuvassa vasemmalla keskiosassa  $\pi$ -kontit siirretään uudelleenjärjestelyä varten. Keskiosassa oikealla  $\pi$ -kontit järjestellään uudelleen. Alalaidassa vasemmalla uudelleenjärjestetyt  $\pi$ -kontit siirretään takaisin  $\pi$ -perävaunujen kyytiin järjesteltynä uudelleen. Kuvassa oikealla alalaidassa uudelleenjärjestetyt  $\pi$ -kontit ovat valmiina jatkamaan matkaansa.



**Kuva 12.** Kuvassa on havainnollistettu toimintaa  $\pi$ -kytkimessä. Muokattu lähteestä: [8]

### 2.2.3 Logistiikan verkot ja protokollat

Vuonna 2011 Montreuil, Meller ja Ballot määritteliiväät Fyysisen internetin globaaliksi logistiikkajärjestelmäksi joka perustuu logistiikan verkkojen yhteenliitettävyyteen standardoitujen protokolien, konttien modulaarisuuteen ja älykkäisiin rajapintoihin joiden ansiosta saavutetaan parempaa tehokkuutta ja kestävää kehitystä. Näitä asioita varten vaaditaan tietoa ja tiedon välittymistä ja tämä kaikki alkaa siitä että  $\pi$ -kontit ovat merkattu älysirulla, johon on mahdollista tallentaa riittävä määrä tietoa. Tallennettavan tiedon määrä voisi vaihdella tarpeen mukaan, mutta ainakin seuraavien tietojen tallennus tulisi olla mahdollista: [5]

1. Asiakkaan tiedot
2. Omistajan tiedot
3. Logistiikkapalvelun tuottaja
4. Mitat ja massat
5. Kontin sallitut massat
6. Toiminnalliset ominaisuudet
7. Paikkatieto
8. Kontin olosuhteista kertovaa tietoa
9. Turvallisuustietoa.

Tiedon tulisi turvallisuussyistä olla kryptattuna niin, että tietoihin pääsyn taso voidaan määrittellä sidosryhmäkohtaisesti. Eriasteisia tiedonpääsytasoja voitaisiin määrittellä omistajatahollen, logistiikkapalvelun tuottajalle, kontin omistajalle, viranomaisille ja kontin sisällön omistajalle. [5]

Yleisen yhteenliitettävyyden saavuttaminen vaatii standardoituja protokollia. Fyysisen internetin protokollien kehittämisen lähtökohtana toimii seitsemään tasoon perustuva Open Systems Interconnection (OSI) – malli. OSI-malli pohjautuu ideaan, että jokainen taso luo lisäarvoa edelliseen nähden niin että päällimmäisin taso on käyttäjälle näkyvä taso. Taulukossa 2 on lueteltu digitaalisen internetin OSI-mallin mukaiset seitsemän tasoa ja verrattu niitä Fyysisen internetin vastaaviin suunniteltuun seitsemään tasoon. Jokaisella näistä tasoista määritellään tasoon liittyvät standardit. [14]

**Taulukko 2.** *Fyysisen internetin OSI-malli verrattuna digitaalisen internetin OSI-malliin. Muokattu lähteestä [5]*

Taso	Digitaalinen internet	Fyysinen internet
1	Fyysinen	Fyysinen
2	Siirto	Yhteys
3	Verkko	Verkko
4	Kuljetus	Reititys
5	Istunto	Lähetys
6	Esitystapa	Paketointi
7	Sovellus	Logistiikan verkko

Fyysisen internetin OSI-mallin ensimmäinen taso käsittää kaikki teorian fyysiset elementit, kuten  $\pi$ -käsittelijät,  $\pi$ -kuljettimet,  $\pi$ -ajoneuvot,  $\pi$ -kontit ja  $\pi$ -kuljetusvälineet. Tämä taso määrittelee yhteenliitettävyyden fyysisten elementtien välillä.

Toisen tason tehtävänä on tarkkailla, havaita ja mahdollisesti korjata virheitä fyysisellä tasolla. Tällainen virhetilanne voi olla  $\pi$ -konttiin kohdistuva toiminto ja sen häiriö, kuten  $\pi$ -kontin hukkuminen lajittelussa. Yhteystasolla tarkkaillaan suorituskyyä.

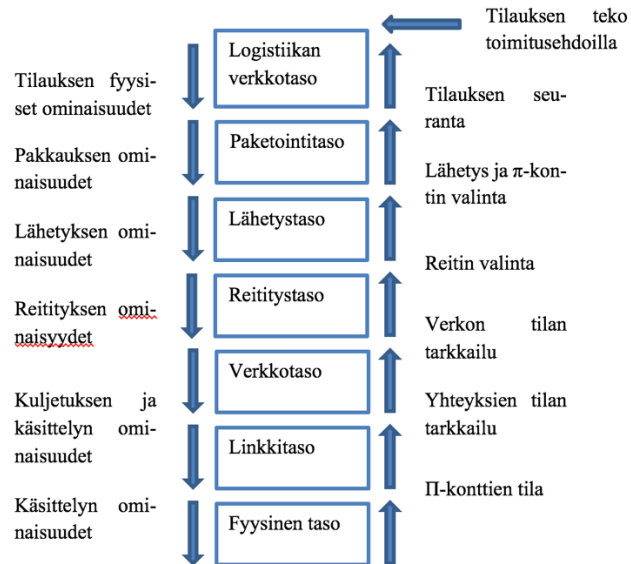
Kolmannen tason tarkoitus on varmistaa yhteenliitettävyys, ehjyys ja toimintakyky Fyysisen internetin verkkojen välillä. Tämä tarkoittaa reitityksen mahdollistamista ja  $\pi$ -konttien logististen liikkeiden tarkkailua. Verkkotasolla määritellään lähetysten protokollat.

Seuraava ja neljäs taso on reititystaso. Reititystason tehtävänä on optimoida  $\pi$ -konttien liikkuminen lähtöpaikasta määräpaikkaan tehokkaalla ja luotettavalla tavalla. Reititystasolla myös määritellään  $\pi$ -konttien kasauksen tai purkamisen tarve.

Viides taso on lähetystaso. Sen tarkoitus on tarjota mahdollistaa  $\pi$ -konttien lähetys. Tällä tasolla määritellään millaista palvelua lähetys tarvitsee ja mahdollistetaan lähetyksen tarkkailu, varmistus, viivästys, peruuntuminen ja uudelleenohjaaminen.

Pakkaustaso on kuudes taso. Sen tarkoitus on hoitaa lähetyksen pakkaamiseen liittyvät tehtävät. Näitä tehtäviä ovat pakkaamiseen liittyvät toiminnot ja tiedon välittäminen Fyysisen internetin järjestelmään. Nykyisellään vastaavana voidaan pitää EDI-sanomien toimintoja kuten ostotilausten, laskujen ja rahtikirjojen siirtoa.

Seitsemäs taso on käyttöliittymä Fyysisen internetin ja käyttäjän välillä. Käyttöliittymän avulla voidaan hallita Fyysisen internetin toimintoja, sopimuksia, palveluita, tarkkailla varastointia ja materiaalivirtoja. Nykyisellään voidaan löytää yhtäläisyyksiä toimitusketjun hallinnan ja toiminnanohjaus ohjelmistoista Fyysisen internetin ominaisuuksiin. [14]



**Kuva 13.** Tiedon liikkuminen tasolta toiselle. Muokattu lähteestä [5]

## 3. FYYSINEN INTERNET TAPAUSTUTKIMUKSEN AVULLA

### 3.1 Tapaukset

Tässä osiossa Fyysistä internetiä tarkastellaan analysoimalla siitä tehtyjä simulaatiotutkimuksia. Arviointi kohdistuu jo tuotettuihin simulaatioihin koska empiirisiä tutkimuksia ei ole tähän päivään (31.1.2018) mennessä tehty ja diplomityön laajuinen tutkimus asettaa rajoja resurssien suhteen.

Tämä tapaustutkimus on suoritettu kahta julkaisua tutkimalla ja aineistoista pyritään löytämään yhteisiä ominaisuuksia. Näitä tapauksia analysoimalla on tarkoitus löytää vastaus kysymyksiin: Mikä vaikutus Fyysisellä internetillä on kuljetuksiin ja logistiikkaan? Lähtökohtana voidaan pitää Fyysisestä internetistä tuotettuja väitteitä logistiikan ja kuljetusten suhteen ja näiden valossa arvioidaan simulaatioiden tuloksia.

Aineistona on käytetty kahta eri simulaationa toteutettua tutkimusta: Simulation of a physical internet-based transportation network ja Simulating a physical internet enabled mobility web: the case of mass distribution in France. Jälkimmäinen on tuotettu Functional Design of Physical Internet Facilities A Road-Based Crossdocking julkaisuun liittyen Fyysisen internetin merkittävien taustahenkilöiden Benoit Montreuilin ja Eric Ballotin toimesta, lisäksi Driss Hakimi, Rochdi Sarraj ja Shanle Pan ja sitä voidaan käyttää vertailupohjana Fyysisen internetin simulaatioille.

#### 3.1.1 Suunnittelun lähtökohtana Fyysisen internetin malli

Montreuilin B., Mellerin, Thiviergen ja Montreuil Zacharyn vuonna 2012 julkaisussa Functional Design of Physical Internet Facilities A Road-Based Crossdocking hub on kerrottu heidän vuonna 2010 alkaneen tutkimuksen tulokset Fyysisen internetin vaikutuksista laitosten ja yhden kuljetustavan järjestelmien suunnitteluun. Kuljetusten kannalta keskeisiä kohtia ovat solmukohtina toimivat  $\pi$ -hubit. Lähtökohtana niiden suunnittelulle on että tulevaa materiaalivirtaa ei tiedetä, mutta voidaan arvioida menneen perusteella ja nykyisen trendin perusteella. [14]

$\Pi$ -hubien toimintaa voidaan julkaisun mukaan mitata kahdenlaisilla tehokkuusmittareilla. Tehokkuusmittarit jaotellaan asiakkaan näkökulmasta ja operaattorin näkökulmasta. Toiminnan kannalta on oleellisia tehokkuusmittareita asiakkaan kannalta ovat [14]:

1. Keskimääräinen ja maksimi läpimenoaika
2. Keskimääräinen lähtevien kuljetusyksiköiden hyödyntäminen
3. Keskimääräinen lähtevien prosenttimäärä haluttuun suuntaan

#### 4. Keskimääräinen prosenttimäärä kiirehdittyjä tehtäviä

Operaattorin näkökulmasta tehokkuusmittareita ovat:

1. II-hubin käytössä oleva alue
2. Lähtevien ja saapuvien porttien määrä
3. Lastauslaitureiden määrä
4. Lähtevien ja saapuvien laituripaikkojen jonopaikat
5. Parkkipaikkojen määrä jonossa
6. II-konttien samanaikainen käsittelymäärä laitoksessa
7. Keskimääräinen prosenttimäärä ylitäytölle
8. Keskimääräinen ja maksimimäärä samanaikaisille  $\pi$ -konteille  $\pi$ -hubissa
9. Keskimääräinen ja maksimimäärä samanaikaisesti käytetyille laituripaikoille
10. Keskimääräinen ja maksimimäärä samanaikaisille käytössä oleville jonopaikoille

Näiden tehokkuusmittareiden lisäksi julkaisussa on annettu ehdotelmassa  $\pi$ -hubin suunnitteluperusteita ja joitain sen toimintaa kuvaavia arvoja jotka ovat saatu joko simuloinnilla tai suoraan päättelämällä arvioimalla ehdotelman kapasiteettia. Näitä aikaan liittyviä arvoja ovat:

1. II-kontin läpimenoajan keskiarvo 21 min ja maksimi 133 min
2. Ajoneuvon läpimenoajan keskiarvo 22 min ja maksimi 94 min
3. Ajoneuvon aika lastauslaiturilla keskiarvona 5,5 min ja maksimi 13 min
4. Odotusajan keskiarvo 11 min ja maksimi 80 min

Vuonna 2013 julkaistussa artikkelissa Interconnected logistic networks and protocols: simulation-based efficiency assessment arvioitiin, että kuljetusten täyttöasteet voivat parantua jopa 17 % Fyysisen internetin avulla. [15] Vastaavasti vuonna 2010 julkaistussa artikkelissa Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge todetaan esimerkin avulla että ajoaikaa Québecistä Los Angelesiin nykylogistiikan tilassa kestäisi 10 000 km matkalle 240 h yhden kuljettajan suorittamana siten, että kuljetus olisi 120 h jälkeen kohteessa. Vastaavasti taas kuljetus jaettuna Fyysisen internetin mallin mukaisesti 17 eri kuljettajalle, olisi kuljetus kohteessaan jo 60 h jälkeen. Artikkelissa todetaan toisessa esimerkissä tuotteen läpimenoajan vähenevän kuljetusketjun muutoksilla kohti Fyysisen internetin mallia. Esimerkissä tarkastellaan neljää eri yritystä ja niiden jakelua niille erikoistuneiden jakelukeskusten kautta, jaettujen jakelukeskusten ja lopuksi Fyysisen internetin mallin mukaisten avointen jakelukeskusten avulla. Tässä esimerkissä on saavutettu tuloksia aina yritykselle erikoistuneen jakelukeskuksen 4,39 päivän keskiarvosta jaetun toimitusketjun avulla saavutettuun 1,48 päivään ja Fyysisen internetin mallin mukaisella avoimella kuljetusketjulla saavutettuun 0 päivään. [2]

Kaikki ongelmat eivät kuitenkaan ole vain numeroiden avulla tarkasteltavia lukuja, vaan kuten nykytilan kuvauksessa pääkohdassa 3 todetaan, on kuljettajien sosiaalinen asema



hankala. Artikkelissa Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge todetaan, että kuljettajasta on tullut nykyajan cowboy. Kuljetusten tehokkuuden ja sosiaalisten vaikutusten lisäksi käsitellään lyhyesti myös kuljetusten ekonomisia ja ympäristönäkökohtia. [2]

### **3.1.2 Tapaus 1: Simulation of a physical internet-based transportation network**

Tässä lokakuussa 2013 julkaistussa simulaatiossa on ollut ideana simuloida Fyysisen internetin mallin mukaisesti kuljetustapahtumaa lähtöpaikasta määräpaikkaan hubista hubiin mallilla, siten että jokaisella hubivälillä on oma ajoneuvo. Lisäksi on testattu kuljetuksien yhdistämistä yhdeksi ajoneuvoyhdistelmäksi.

Lähtökohtana tutkimukselle on Fyysisen internetin perusoletus kestävästä kehityksestä logistiikassa. Tutkimukseen on yksinkertaistettu malli Fyysisestä internetistä tietokonemallinnuksena Kanadan Québecin, Ontarion ja New England kaupunkien välille paikkatietoa hyödyntäen. Mallinnuksessa on yksinkertaistettuna otettu huomioon seuraavia tekijöitä: Kaupunkien väkiluvut ja sen seurauksena vaihteleva ajoneuvojen ja kuljettajien määrä, sekä kysynnän määrä. Mallinnuksessa on oletettu että yritys lähettää täyden  $\pi$ -kontin määrän kuljetettavaa tavaraa. Täysi kontteja voi olla kokonaisluvun määrä kuljetuksessa. Täysi  $\pi$ -kontti vastaa 40 t edestä kuljetuskapasiteettia. Kuljetusten on laskettu tapahtuvan 100 km/h nopeudella. Hypoteesina on myös että kuljettajat ajavat maksimissaan 8 h per työvuoro ja siten ei enempää kuin 3 h yhteen suuntaan. Kuljetukselle on annettu toimitusaika ja reititys suunnitellaan kuten Fyysisen internetin teoriassa: Reitti kulkee lähtöpaikasta määräpaikkaan ja reititys suunnitellaan vain seuraavalle hubille lyhyimmän kuljetusajan mukaisesti. Mittareina on käytetty seuraavia tekijöitä logistiikan arvioimiseen: Perävaunujen määrä kuljetukseen, tyhjien ja kuormattujen perävaunujen määrä, kuormattuna ja tyhjänä kuljettu matka ja lisäksi toimitusaikaan liittyviä tekijöitä. Lisäksi on mitattu kustannuksiin, sosiaaliin ja ympäristöön liittyviä tekijöitä.

### **3.1.3 Tapaus 2: Simulating a physical internet enabled mobility web: the case of mass distribution in France**

Lokakuussa 2012 julkaistussa simulaatiotutkimuksessa lähtökohta tutkimukselle on sama kuin aiemmin kuvatussa: Tutkitaan Fyysisen internetin mallin mukaista kuljettamista. Tätä simulaatiota voidaan pitää vertailukohtana, sillä tämä julkaisu pohjautuu julkaisuun Functional Design of Physical Internet Facilities A Road-Based Crossdocking ja molempien julkaisujen taustalla ovat Fyysisen internetin teorian taustahenkilöt Benoit Montreuil ja Eric Ballot. Tämän simulaatiotutkimuksen päätavoitteena on tutkia, kuinka Fyysisen internetin vaatimuksilla voidaan suunnitella internet-pohjainen kuljetusten simulaattori, tässä tapauksessa Ranskaan perustuen. Tässä simulaatiossa on huomioitu sekä raide- ja tieliikenne. Simulaatio perustuu kolmeen pääelementtiin, joita ovat:

1. Toimitusketjun hallinta
2. Kuljetusten hallinta
3. Reititysten hallinta

Toimitusketjun hallinnassa on kyse tilausten käsittelystä ja niiden muodostamisesta lähetysiksi valittuun määränpäähän. Fyysisen internetin teorian mukaisesti tilaus käsitellään ja valitaan lähetyselle yksi tai useampi  $\pi$ -kontti massat ja mitat huomioiden. Kun edellä kuvattu on tehty ja  $\pi$ -kontti on valmis lähetettäväksi, siirtyy se kuljetusten hallinnan käsiteltäväksi. Fyysisen internetin teorian mukaisesti päivitetään toimitusketjun hallintaan tieto lähetysten tilasta sen eri vaiheissa. Reititysten hallinta valitsee jokaiselle  $\pi$ -kontille optimaalisen reitin.

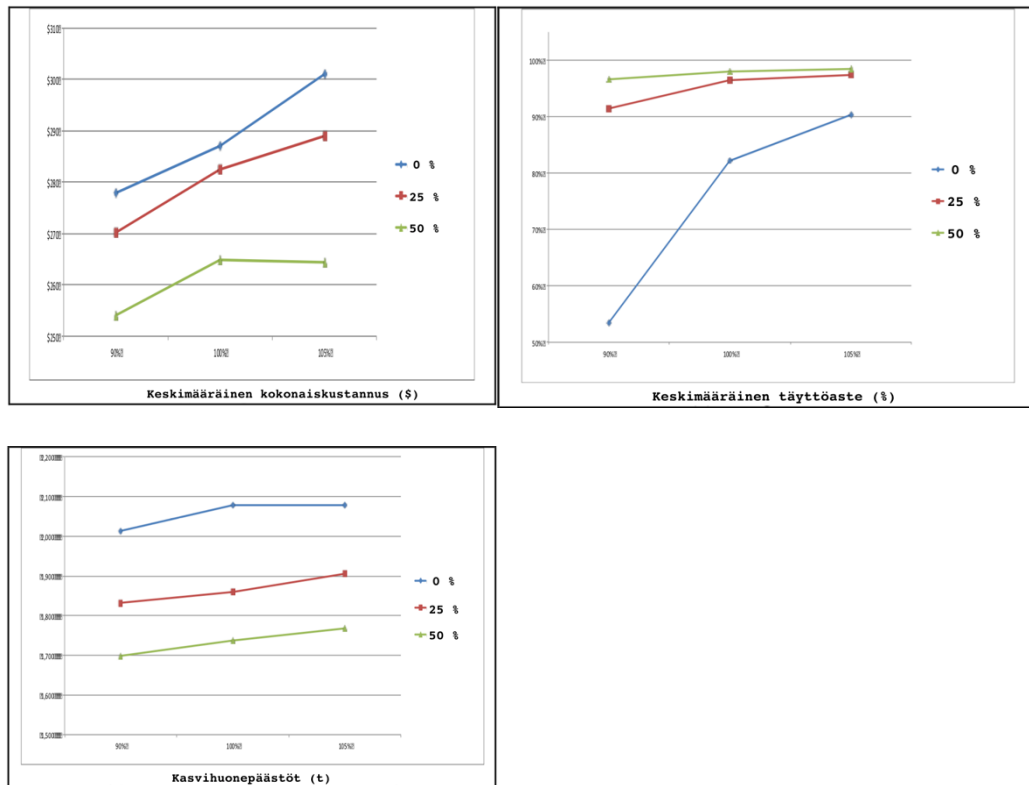
### 3.2 Päätelemät tapaustutkimuksista

Tapauksessa 1 simulointi on suoritettu vertaamalla Taulukossa 3 näkyviä skenaarioita toisiinsa. Näin on mahdollista vertailla jokaista parametria ja sen vaikuttavaa muutosta toisiinsa. Parametrien avulla on arvioitu millainen vaikutus niillä on keskimääräisiin kokonaiskustannuksiin, keskimääräiseen täyttöasteeseen, keskimääräiseen kotona vietettyyn aikaan ja keskimääräisiin kasvihuonepäästöihin. Lisäksi on otettu huomioon millainen vaikutus kuljetusten yhdistelemissä on. Tämä on huomioitu siten että yhdistelemisen arvo on joko 0 %, 25 % tai 50 %. Taulukon skenaarioissa on otettu huomioon logistiikan tehokkuus, ekonomiset tekijät, sosiaaliset tekijät ja ympäristötekijät. [15]

**Taulukko 3.** Simulaatiossa käytetyt skenaariot tapauksessa 1. Muokattu lähteestä [15]

Kaluston koko		Alhainen (90 %)			Normaali (100 %)			Korkea (105 %)		
Yhdistäminen	Halu odottaa	[0]	[0,1]	[0,1,2]	[0]	[0,1]	[0,1,2]	[0]	[0,1]	[0,1,2]
0 %	Normaali kysyntä	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Korkea kysyntä	10	11	12	13	14	15	16	17	18
25 %	Normaali kysyntä	19	20	21	22	23	24	25	26	27
		28	29	30	31	32	33	34	35	36
50 %	Korkea kysyntä	37	38	39	40	41	42	43	44	45
		46	47	48	49	50	51	52	53	54

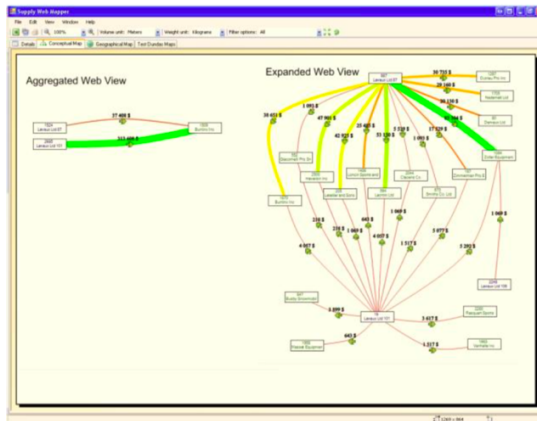
Kuvan 14 kuvaajissa esitetään kuinka kuljetusten yhdisteleminen vaikuttaa skenaarioissa kokonaiskustannuksiin, täyttöasteeseen ja kasvihuonepäästöihin. Kuljetusten yhdisteleminen on positiivinen vaikutus tuloksiin jokaisella osa-alueella. Kokonaiskustannuksiin on laskettu summana kiinteät kulut, kuljettamisesta syntyvät kustannukset ja  $\pi$ -hubin käytöstä syntyvät kustannukset. Kasvihuonepäästöjen osalta on käytetty tilastotietoa keskimääräisistä kasvihuonepäästöistä kuljetuksissa.



**Kuva 14.** Tapauksen 1 simulaation keskimääräiset kokonaiskustannukset, keskimääräiset täyttöasteet ja kasvihuonepäästöt. Muokattu lähteestä [15]

Tapauksen 1 simulaatiosta voidaan päätellä että kuljetusten yhdistelemisellä on positiivinen vaikutus sekä kokonaiskustannuksiin, täyttöasteeseen ja myös kasvihuonepäästöihin. Fyysisen internetin mallin mukainen hubista hubiin tapahtuva kuljetus, jossa yksi kuljettaja ajaa korkeintaan 3 h per suunta ja 8 h per vuorokausi, on vaikutusta sosiaalisesti. Simulaatiossa todettiin, että kuljetusreitin muuttaminen  $\pi$ -hubien välillä optimaalisen reitin löytämiseksi on Fyysisen internetin mallissa etu. Simulaatiotutkimuksessa todettiin myös että kuljettajan odotuksella paluukuljetusta varten on mahdollisesti suurempi merkitys kuin kuljetusten yhdistelemisellä.

Tapauksen 2 simulaatiotutkimuksessa perustuu todelliseen dataan kahdelta suurelta Ranskalaiselta jälleenmyyjältä ja heidän 106 tärkeintä tavarantoimittajaansa. Data sisältää elintarvikkeita poislukien tuoreet ruuat. Simulointi vastaa 12 ensimmäistä vuoden 2006 viikkoa. Simulointi on tehty sekä käyttämällä Fyysisen internetin mallia, että nykyisellä logistiikan mallilla.



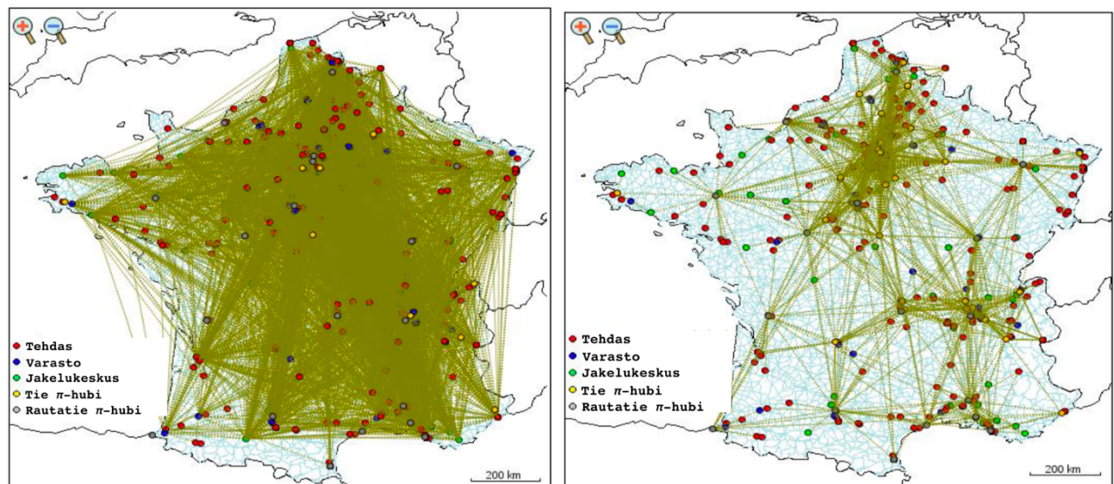
**Kuva 15.** Simulaatio-ohjelman tuottama jakeluverkoston kartta tapauksessa 2 [2]

Kuvassa 15 on jakeluverkoston karttatyökalun (Supply web mapper) luoma visuaalinen kuva jakeluverkostosta. Karttatyökalu auttaa arvioimaan visuaalisesti jakeluverkostoa. Alla olevassa Taulukossa 4 on koottu vertailtavaksi kaksi simuloitua tilannetta. Ylemmällä rivillä on kuvattu tilanne ilman Fyysistä internetiä ja alemmalla rivillä Fyysisen internetin mallin mukaisesti. Simulaatiota ilman Fyysistä internetiä on vertailtavissa helposti, sillä se kuvastaa logistiikan nykytilaa. Fyysisen internetin tapauksessa sama määrä tilauksia on toimitettu, mutta eri tavalla. Toimitusketjun hallinta on on pilkkonut saman määrän tilauksia noin kolminkertaiseksi määräksi kuljetustapahtumia jotka kattavat kuljetuksen lähtöpaikasta yhden tai useamman hubin kautta määräpaikkaan. Jokainen näistä 677 551 kuljetetusta  $\pi$ -kontista on reititetty itsenäisesti muista konteista riippumatta optimaalisinta reittiä pitkin. Tällä on saatu vähennettyä kuljettua matkaa simulaatioiden välillä noin 11 000 km kuljetuskertojen määrän kustannuksella.

**Taulukko 4.** Simulaatiossa käytetyt skenaariot tapauksessa 2. Muokattu lähteestä [2]

	Tie- ja rauta- hubit	Tilauk- set	Kuljetus- kertoja	Π-kontit	Keskimää- räiset mat- kat	Matka yhteensä (km)
Ei Fyy- sistä in- ternetiä	-	211 167	282 381	-	124 618	54 725 706
Fyysisen internetin tapauk- sessa	38	211 167	868 093	677 551	270 623	43 735 190

Kuvassa 16 on visualisoitu kuljetuksia kummassakin simulaatiossa siten, että vasemmalla näkyvässä kartassa ovat kuljetuksen simulaatiossa ilman Fyysistä internetiä ja oikealla Fyysisen internetin tapauksessa. Kuvat kertovat nykymallin hajautuneisuudesta ja Fyysisen internetin vaikutuksesta muokata kuljetusreittejä järjestelmälliseksi.



**Kuva 16.** Vasemmalla kuljetukset ilman Fyysistä internetiä ja oikealla Fyysisen internetin mallin mukaan tapauksessa 2. Muokattu lähteestä [2]

Näiden kahden simulaatiotutkimuksen valossa Fyysisellä internetillä vaikuttaa olevan logistiikkaa tehostava vaikutus jota voidaan lisätä entisestään yhdistämällä kuljetuksia tai

jos kuljettajan on mahdollista odottaa paluukuormaa. Näistä kahdesta tehostavasta tekijästä mahdollisella paluukuormalla vaikuttaa olevan suurempi merkitys. Tehostamiskeinoilla on myös suora vaikutus päästöihin, joiden todetaan pienentyvän, ja myös sosiaalisia vaikutuksia. Sosiaalisiksi vaikutuksista merkittävin on kuljettajien mahdollisuus lyhyempien yksittäisten matkojen myötä viettää aikaa kotona.

## 4. VAIKUTUKSET JA SOVELTAMINEN

### 4.1 Vaikutukset, haasteet ja mahdollisuudet

Fyysinen internet on käsitteenä melko uusi ja termi on ollut käytössä vasta vähän aikaa. Fyysisestä internetistä on siitä huolimatta tuotettu tuhansia sivuja teoriaa. Vaikka tarvittava teknologia on pääosin olemassa, ei simulointia laajempia tutkimuksia ole suoritettu. Simulointien lisäksi julkaisuista löytyy myös matemaattinen mallinnus vuosilta 2014 ja 2015. Tällä hetkellä voidaan pitää mahdollisena, että Fyysisellä internetillä olisi joitain positiivisia vaikutuksia toteutuessaan. Vaikutusten tiellä on vielä kuitenkin haasteita joiden yli tulisi päästä.

#### 4.1.1 Vaikutukset

Logistiikan voidaan todeta olevan tehokkaimmillaan silloin kun siihen käytettävät taloudelliset, ympäristölliset ja sosiaaliset resurssit ovat minimoituja. Hukan vähentämisellä saattaisi olla taloudellisia vaikutusta tuottavuuteen ja kilpailukykyyn. Samoin logistiikan aiheuttamia ympäristöhaittoja kuten kasvihuonekaasujen, fossiilisten polttoaineiden, pienhiukkas- ja melupäästöjen määrä tulisi saada laskuun. Sosiaalisista vaikutuksista kuljettajien työolosuhteita tulisi parantaa ja tavaraliikenteen liiallisen määrän yhteiskunnallisia vaikutuksia vähentää. [physical internet foundations]

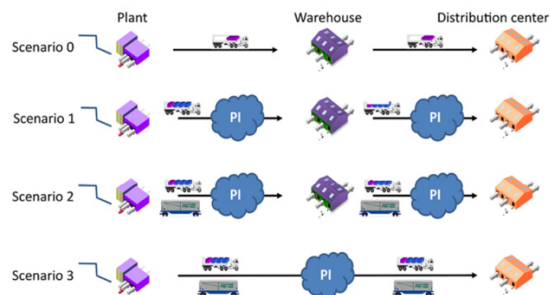
Vuonna 2011 julkaistussa Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge julkaisussa on listattu 13 nykytilan epäkohtaa. Nämä voidaan jaotella myös ekonomisiksi, ympäristöllisiksi tai sosiaalisiksi epäkohdiksi. Fyysisen internetin teoria pyrkii myös vastaamaan näihin epäkohtiin kolmentoista vaikutuksen avulla Taulukon 5 mukaan ja jota on avattu kappaleessa 2.



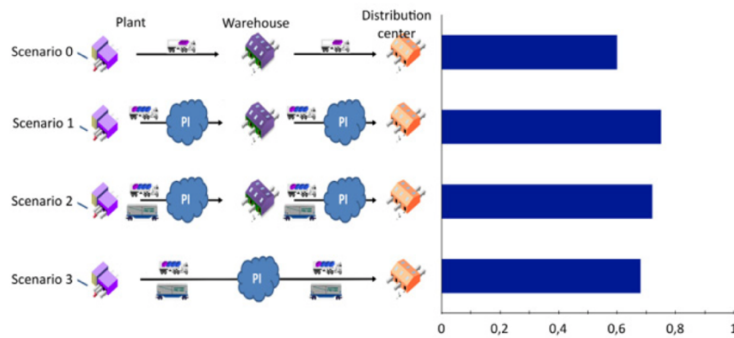
**Taulukko 5.** *Fyysisen internetin vastaukset haasteisiin. Muokattu lähteestä [2]*

	Fyysisen internetin vastaus ongelmaan												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Kestämättömyyden merkit	Tavaroiden pakkaaminen standardoituin ja modulaarisin aliyksiköihin	Universaali yhteensillitettavuus	Materiaalin käsittelystä Fyysisen internetin konseptin mukaisten konttien käsitte-lyyn ja varastointiin	Alkyöntien verkottaminen	Hajautuneen nykylogistiikan kehittäminen monisegmenttiseksi ja intermodaaliseksi	Yhtenäisen montasoisuuden hyödyntäminen	Kuljetusketjujen muuttaminen avoimiksi ja yhteisiksi	Kuljetettavien tuotteiden suunnittelu standardoituin pakkaus- ja yhdyntäsojilla	Tiedon hyödyntämisen avulla minimoidaan kuljetusta ja varastointia	Avoin suorituskäynnin arvioinnin	Priorisoidaan verkkojen luotettavuuteen ja kestävyys	Edistetään liiketoiminnan innovointia	Mahdollistetaan infrastruktuurin avoin innovointi
1 Tyhjätila pakkauksissa ja konteissa	x							x					
2 Tyhjänä ajaminen		x			x								
3 kuljettajien sosiaalinen asema			x		x								
4 Tuotteiden makuuttaminen varastossa	x			x			x						
5 Tuotannon ja varastoinnin tehon käyttö	x	x	x				x	x	x				
6 Käyttämättömät ja myymättömät tuotteet		x					x		x		x	x	
7 Tuotteet eivät saavuta niitä jotka haluavat niitä eniten		x					x		x		x		
8 Tuotteiden turha kuljettaminen		x								x			x
9 Nopea ja varma intermodaalinen kuljettaminen ei toteudu	x	x	x	x	x	x				x			x
10 Tuotteiden kuljetus kaupunkeihin ja kaupungeista on hankalaa	x	x		x	x	x	x		x		x		
11 Logistiset verkot ja toimitusketjut eivät ole turvallisia tai vakaita	x	x		x	x		x			x	x		
12 Älykäs automaatio ja teknologia ei ole toimivaa	x	x	x	x		x				x		x	x
13 Innovoinnin ongelmat	x	x	x	x		x						x	x

Taulukon 5 vastauksia voidaan arvioida suorituskäykymittareilla. Näiksi suorituskäykymittareiksi on valittu täyttöaste, uudelleenlastausten määrä hubien välillä, läpimenoajalla, hiilidioksidiarvoilla, kuljetetulla kokonaismatkalla, varastoinnilla ja logistiikan kustannuksilla. Näitä suorituskäykymittareita on arvioitu vertaamalla neljää skenaariota keskenään.

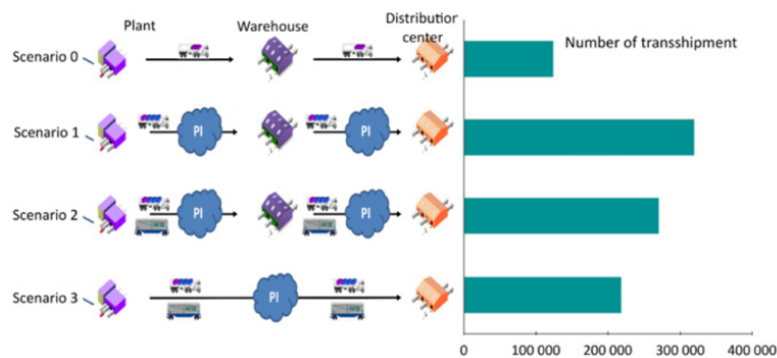
**Kuva 17.** *Skenaarioiden vertailu. Muokattu lähteestä [5]*

Julkaisussa The Physical Internet on arvioitu näitä suorituskäykymittareita skenaarioiden avulla. Skenaarioista skenaario 0 tarkoittaa nykytilaa ja tähän verrataan muita skenaarioita. Skenaario 1 vastaa tilaa, jossa suurin osa toimitusketjusta on nykytilan mukaisesti, mutta Fyysisen internetin  $\pi$ -kontit ja kuljetusverkon avoimuus on käytössä, mutta kuljetukset tapahtuvat vain yhdellä kuljetustavalla. Skenaario 2 taas vastaa tilannetta jossa  $\pi$ -konttien ja avoimen kuljetusverkon lisäksi hyödynnetään Fyysisen internetin reititystoimintoja ja kuljetuksia sekä tiellä ja rautatiellä. Skenaariossa 3 lisänä on hajautettu lähetyksmahdollisuus, joka tarkoittaa että pienempiä lähetyksiä tai osa lähetyksestä voidaan lähettää matkaan nopeammalla aikataululla.



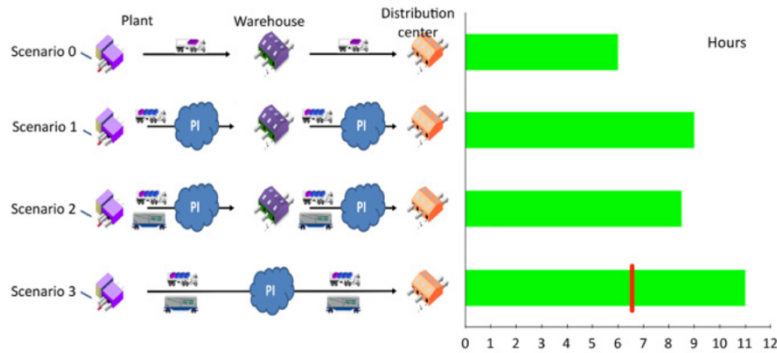
**Kuva 18.** Täyttöasteiden vertailu skenaarioissa. Muokattu lähteestä [5]

Täyttöaste on suhdeluku joka kuvaa sen hetkistä kuljetuskapasiteetin käyttöä ja täyttöaste antaa tarkan kuvan kuljetuksen tehokkuudesta. Kuljetuskapasiteettia voidaan kuvata joko tilavuuden tai massan avulla. Fyysisen internetin arvioidaan nostavan täyttöasteita 7 – 15 % ja parhaimmillaan 17 – 33 % skenaarioon 0 verrattuna ja tätä voidaan pitää merkittävänä muutoksena. Kuvassa 18 on kuvattu skenaarioiden vaikutus täyttöasteeseen. Täyttöasteen pienempi arvo skenaarioissa 2 ja 3 johtuu siitä että skenaariossa 2 käytetään eri kuljetusmuotoja ja skenaariossa 3 ei odoteta suurempaa täyttöastetta kuljetuksen lähettämiseen, vaan hyödynnetään Fyysisen internetin jakelukeskuksia.



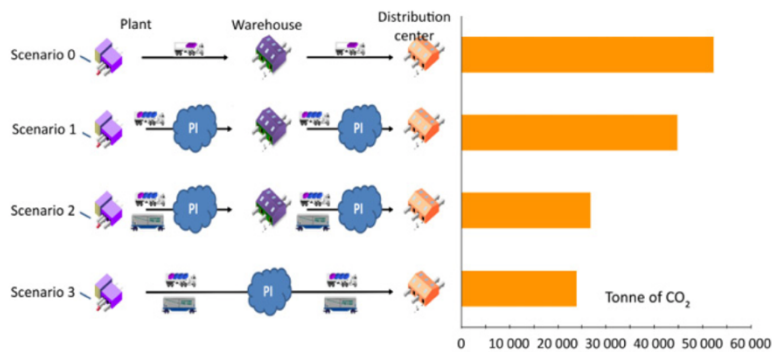
**Kuva 19.** Uudelleenlastausten määrien vertailu skenaarioiden välillä. Muokattu lähteestä [5]

Kuvassa 19 on kuvattu kuljetusten määrien vaihtelua skenaarioiden välillä. Fyysisellä internetillä on vaikutus kuljetusten määriin. Fyysisellä internetillä on uudelleenlastausten määriä nostava vaikutus, mutta uudelleenlastausten arvioidaan suoritettavan tehokkaammin. Skenaariossa 3 uudelleenlastausten määrä on pienempi kuin kahdessa muussa skenaariossa. Keskimäärin uudelleenpakkauksen määrä lisääntyy 1,3 ylimääräisellä uudelleenpakkauksella lähetystä kohden.



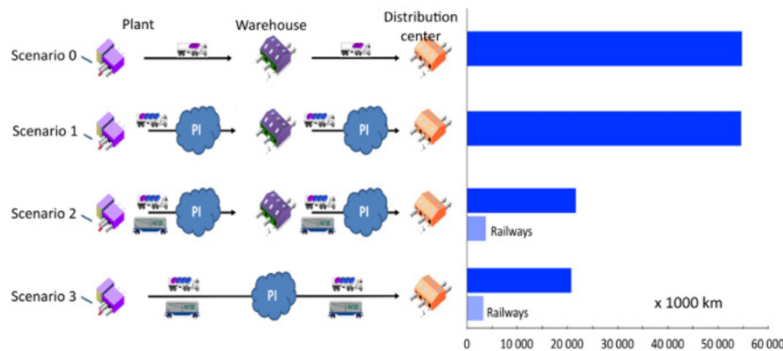
**Kuva 20.** Läpimenoaikojen vertailu skenaarioiden välillä. Muokattu lähteestä [5]

Läpimenoaika tarkoittaa aikaa joka tuotteen tilauksesta on kulunut tuotteen toimittamiseen asiakkaalle. Kuvassa 20 on kuvattu läpimenoaikoja skenaarioiden välillä. Läpimenoajat ovat pidempiä fyysisen internetin skenaarioissa kuin nykytilassa. Fyysisen internetin tapauksessa läpimenoaika sisältää myös hubien välillä tapahtuvan toiminnan. Skenaario 3 sisältää myös kahden eri kuljetusvaiheen ajat ja tämä on huomioitu vertailussa. Ilman tätä huomioimista skenaario 3 nostaa läpimenoaikaa 5 tunnilla verrattuna skenaarioon 0.



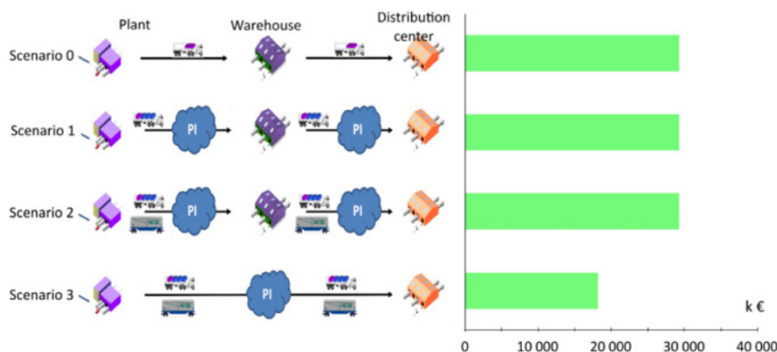
**Kuva 21.** Hiilidioksidipäästöjen vertailu skenaarioiden välillä. Muokattu lähteestä [5]

Kuvassa 21 on vertailtu hiilidioksidipäästöjä skenaarioiden välillä. Täyttöasteiden nousu johtaa hiilidioksidipäästöjen laskuun. Tiekuljetusten lisäksi muiden kuljetusmuotojen hyödyntämisellä on positiivinen vaikutus hiilidioksidipäästöihin pienentämällä niitä huolimatta suuremmasta kuljetetusta kokonaismatkasta.



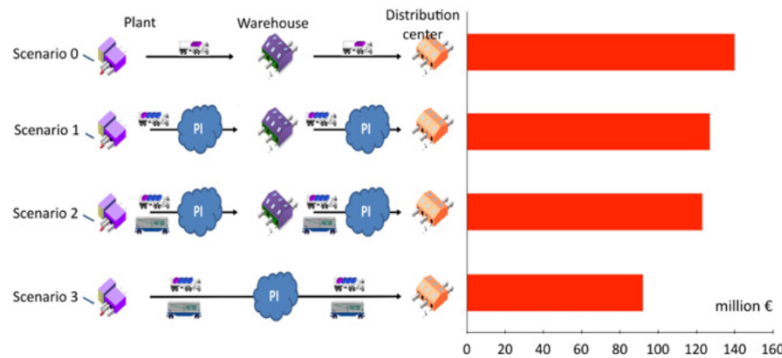
**Kuva 22.** Kuljetettujen kokonaismatkojen vertailu skenaarioiden välillä. Muokattu lähteestä [5]

Hiilidioksidipäästöjen vähenemisen lisäksi paremmalla täyttöasteella on positiivisena vaikutuksena kuljetetun kokonaismatkan väheneminen. Kuvassa 22 on vertailtu kuljetettuja kokonaismatkoja eri skenaarioiden välillä. Vaikka Fyysisen internetin skenaariossa 3 kuljetukset tapahtuvat hubien kautta, kuljetettu matka pysyy käytännössä samana tieliikenteellä. Skenaarioissa ei oteta huomioon tyhjänä ajoja tai paluukuormien merkitystä. Kuvan skenaarioiden vertailuissa voidaan todeta 60 % vähemmän kuljetettua kokonaismatkaa, mikäli kuljetuksessa on käytetty sekä raide- ja tieliikennettä. Skenaarioissa 2 ja 3 raideliikenteenä kuljetetaan noin neljäsosa kokonaismatkasta.



**Kuva 23.** Varastoinnin vertailu skenaarioiden välillä. Muokattu lähteestä [5]

Skenaarioita simuloidessa on otettu huomioon myös varastointi. Skenaarioissa on simuloitu arvioimalla tilauksen varastomäärä noin puoleksi toimitetusta määrästä. Toimitukset on arvioitu tapahtuvan 98 % varmuudella ilman vajuusta. Skenaarion 3 tapauksessa ei ole varastoa ja tämän arvioidaan vähentävän varastoarvoja noin 40 %. Skenaarioiden 0, 1 ja 2 välillä ei ole eroa.



**Kuva 24.** Logistiikan kustannusten vertailu skenaarioiden välillä. Muokattu lähteestä [5]

Kuvan 24 kustannusvertailu on toteutettu siten että hinnat on pyritty laskemaan nykymallin konttien hinnoittelulla ja kustannukset identtisinä. Kustannuksissa on huomioitu hinta kuljetetulle matkalle sekä tie- ja rautatieliikenteessä, kontin käsittelyn kustannukset eri kuljetusvaiheissa, varastointikustannukset ja konttien vuokraamisesta syntyvät kustannukset. Kustannuserot skenaarioiden välillä ovat 10 – 35 % skenaarion 3 hyväksi.

Edellä kuvattujen skenaarioiden perusteella Fyysisen internetin mallilla olisi positiivisia vaikutuksia lähes jokaisella osa-alueella. Parannusta nykytilaan verrattuna on skenaarioiden perusteella mahdollista saada jo Fyysisen internetin osittaisella käytöllä. Fyysisellä internetillä on skenaarioiden perusteella taloudellisesta ja ympäristön kannalta positiivinen vaikutus. Skenaarioissa ei ole kuitenkaan otettu arvioitu sosiaalisia vaikutuksia tai kasvavan määrän kuljetustapahtumia vaatimia resursseja tai vaikutuksia. Sosiaalisten vaikutukset saattavat mahdollisesti teorian ja simulointien perusteella olla positiiviset yhden kuljettajan ajomatkan rajoittuessa hubien välille ja kotona vietetyn ajan määrän lisääntyessä. Fyysisen internetin mallin voidaan nähdä vähentävän kuljetuksien kokonaismatkoja ja lisäävän työtä uudelleenpakkaamisen muodossa.

#### 4.1.2 Haasteet

Fyysinen internet on teoriana mullistava mutta toteutuakseen on ratkaistavana vielä haasteita ratkaistavana. Vaikka itse teorian haasteet saataisiin ratkaistuksi, olisi siirtyminen nykylogistiikasta Fyysisen internetin malliin erittäin iso askel ja vaatisi tarkoin suunnitellun strategian onnistuakseen. Nykyisessä hajautuneessa markkinataloudessa ei Fyysisen internetin kaltaisia kokonaisvaltaisia järjestelmiä ole ollut. Nykyisellään monet tuotteen, yrityksen tai palvelun ympärille rakennetut järjestelmät ovat sidottuja sopimuksilla tai taloudellisesti nykyiseen järjestelmäänsä. Fyysisen internetin kaltainen malli vaatisi laajan skaalan yhteistyötä, mallia tukevaa säädäntöä ja laajaa hyväksyntää yksityiskohdat mukaanlukien. [16]

Fyysisen internetin malliin liittyy myös teorian sisältämiä haasteita. Ne voidaan jaotella fyysisiin, tietoon ja liiketoimiin liittyviksi haasteiksi. Fyysisiin haasteisiin voidaan lukea Fyysisen internetin infrastruktuuriin liittyvät haasteet, kuten  $\pi$ -konttien ja  $\pi$ -hubien rakenteet. Tietoon liittyvät haasteet ovat tiedonsiirtoon ja älykkäisiin järjestelmiin liittyviä haasteita. Liiketoiminnan kategoriaan taas luetaan toimitusketjuun ja liiketoimintamalleihin liittyvät haasteet.

Fyysisistä haasteista yksi suurimmista ovat Fyysisen internetin mallin mukaiset  $\pi$ -kontit.  $\Pi$ -kontteja on kehitetty teorian alusta alkaen ja julkaisuissa on ollut hahmotelmia niistä ulkoiset mitat mukaan lukien [toward physical internet s. 5, physical internet initiative]. Vuonna 2014 perustettu ja EU rahoitteinen Moduluscha (Modular Logistics Units in Shared Co-modal Networks) pyrkii kehittämään Fyysisen internetin keskeisiä komponentteja [17]. Teknisiä yksityiskohtia  $\pi$ -konteista hypoteettisia mittoja (luku 2.2.2) lukuunottamatta ei kuitenkaan ole julkaistu. Sama pätee myös muihin fyysisiin objekteihin teoriassa. Lukuisissa julkaisuissa on määritelty  $\pi$ -konttien lisäksi  $\pi$ -solmujen ja  $\pi$ -liikuttelijoiden tehtäviä, mutta mitään näihin liittyviä teknisiä yksityiskohtia ei ole julkaistu karkeiden hahmotelmien lisäksi [8]. Haasteena voidaan pitää myös Fyysisen internetin mahdollisessa implementoinnissa tasapainoa konttien ja kuljetuksien kanssa. Modulaaristen  $\pi$ -pakkausten ja  $\pi$ -konttien kanssa olisi suunniteltava tarkkaan kuinka paljon erikokoisia pakkauksia ja kontteja tarvitsee ja kuinka niiden kuljettaminen vaikuttaa väli- ja määräpaikkoihin kertyviin määriin pakkauksista ja konteista.

Tietoon liittyviä haasteita voidaan pitää vastaavina kuin fyysisiin objekteihin liittyviä haasteita. Yhteenliitettävyydestä ja protokollista on annettu melko yleisellä tasolla linjanvetoja siitä miten järjestelmät voisivat rakentua, mutta mitään sen tarkempaa ei ole vielä julkaistu. Fyysisen internetin teoriassa on määritelty protokollat ja käyttöliittymät standardoiduiksi mutta näistäkään ei ole suunnittelun lähtökohtia tarkempaa julkaistu.

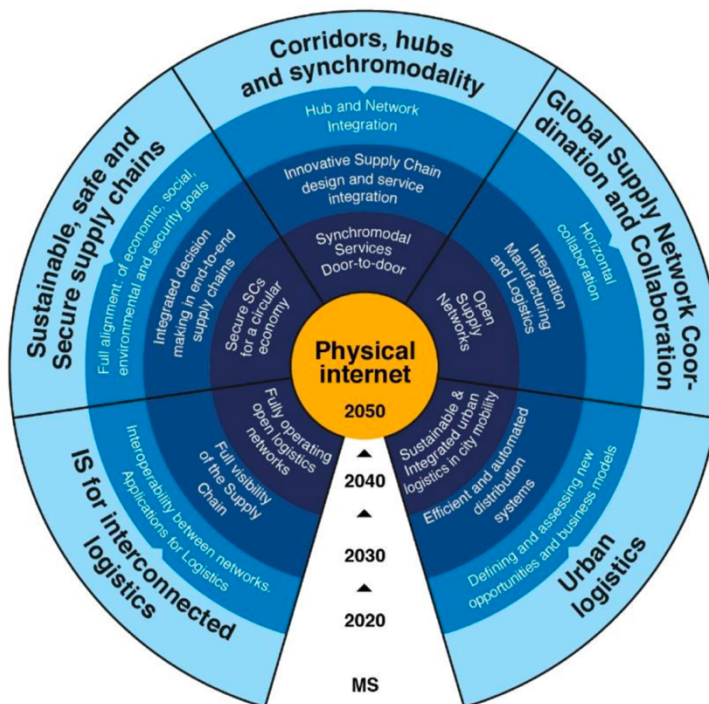
Liiketoimintaan liittyy myös haasteita. Fyysisen internet toisi mukanaan standardointeja usealle osa-alueelle ja mahdollisesti vaikuttaisi yritysten markkinaosuuksiin ja kilpailuun markkinoilla logistiikan kautta ja on kyseenalaista, olisivatko markkinoilla logistiikan avulla etua kilpailijoihin saavuttaneet yritykset valmiita muutoksiin. Liiketoiminnan mallit ja eri kuljetusmuotojen standardoinnit eroavat maiden välillä. [18]

Fyysisen internetin mahdollisuuksia ja tulevaisuutta voidaan arvioida myös hieman sen kehityksen perusteella. Kehitystä voidaan tällä hetkellä arvioida taas pelkästään tutkimusten ja julkaisujen avulla, Fyysisen internetin ollessa teorian asteella oleva malli ja siten tutkimusten kohteena. Julkaisujen määrän voidaan ajatella kuvaavan malliin kohdistuvaa kiinnostusta ja sitä kautta antavan kuvaa sen mahdollisesta potentiaalista. Julkaisujen perusteella Fyysisen internetin kehityskaari voidaan jakaa kahteen osaan, vuosiin 2006-2012 ja 2012-2018. Ensimmäisessä osassa kehityskaarta julkaisut ovat keskittyneet pääosin Fyysisen internetin teorian muodostamiseen, kun taas toisessa vaiheessa julkaisujen

aihealueet ovat siirtyneet tutkimaan ratkaisuja Fyysisen internetin haasteisiin ja case-tutkimuksiin aiheesta. Ylivoimaisesti viitatuin julkaisija on E. Ballot ja toisena B. Montreuil. On myös huomioitava että Fyysisestä internetistä tuotettuja julkaisuja on arvioitu hyvin vähän tiedeyhteisön toimesta. [19]

### 4.1.3 Mahdollisuudet ja tulevaisuus

Fyysiseen internetiin liittyvistä haasteista huolimatta mallilla on mahdollisuudet vaikuttaa kuljetuksiin. Fyysisellä internetillä on mahdollisuus tehdä kuljetusverkostoista joustavampia, luoda enemmän kuljetusmahdollisuuksia ja tehostaa kuljetuksia [20]. Euroopassa Fyysisten internetin mahdollisuuksia tutkitaan miljoonien rahoituksen ja monien tutkimusten voimin. Tutkimuksissa on mukana niin yrityksiä ja liike-elämän edustajia, kuin akateemisen maailman edustajia. Tällainen Fyysisen internetin tutkimukseen keskittynyt teknologiayhteisö (European Technology Platform, ETP) on ALICE (Alliance for Logistics Innovation through Collaboration in Europe). Lisäksi EU-rahoitteisia tutkimusprojekteja ovat jo päättynyt Moduluscha ja tällä hetkellä käynnissä oleva CORDISin (Community Research and Development Information Service) SENSE – Accelerating the Path Towards Physical Internet –projekti. Yhdysvalloissa suurimpana Fyysisen internetin tutkimuksen tekijänä julkaisujen määrän ja yhteistyöverkoston perusteella on Georgia Institute of Technologyn Physical Internet Center, jolla on yhteistyötä suurten liike-elämän yritysten kanssa.



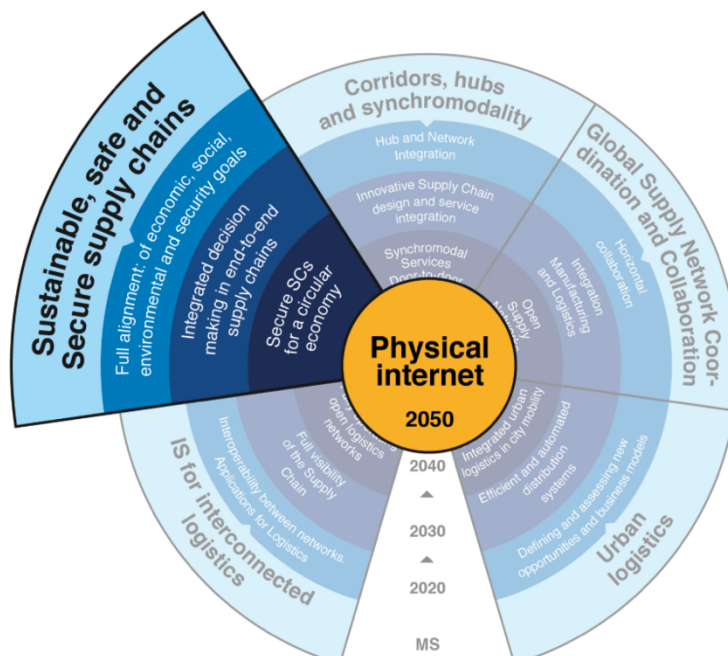


**Kuva 25.** ALICE:n etenemissuunnitelma Fyysisen internetin implementoinnille. Muokattu lähteestä [21]

Teknologiayhteisö ALICE on julkaissut selkeimmät tavoitteet Fyysisen internetin etenemissuunnitelmaksi. Tavoitteet perustuvat Kuvassa 25 kuvattuihin viiteen kategoriaan ja viiden aikataulullisen askeleen suunnitelmaan siten, että Fyysinen internet voitaisiin ottaa käyttöön vuonna 2050. Viisi kategoriaa ovat jaoteltu seuraavasti [21]:

1. Kestävät, turvalliset ja suojatut toimitusketjut
2. Yhdyskäytävät, hubit ja synkromodaalisuus
3. Yhteenliitetty logistiikka
4. Globaali jakeluverkon koordinointi ja yhteistyö
5. Urbaani logistiikka.

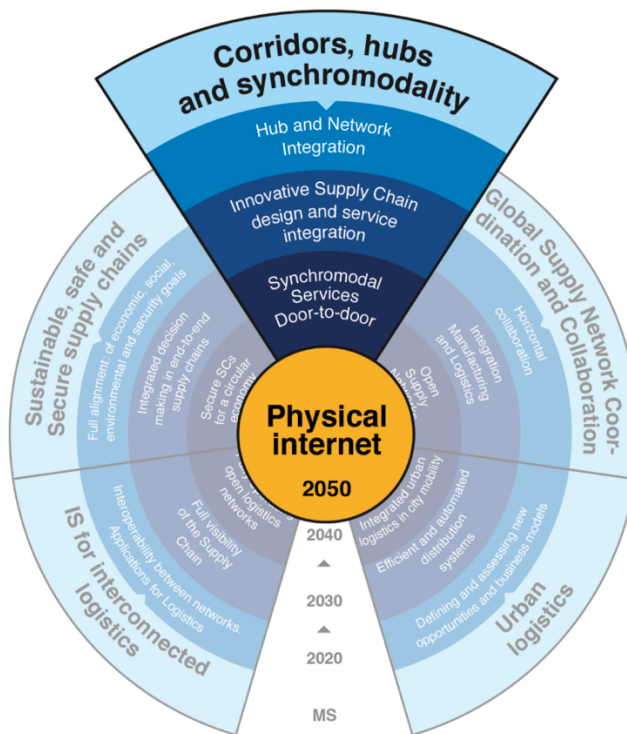
Näiden viiden kategorian suhteen on tarkoitus löytää ratkaisut askeleiden tavoitteiden saavuttamiseksi. Tavoitteiden saavuttamiseksi on asetettu välitavoitteita ja niille teemoja. Näitä on tarkoitus ensin lähestyä tutkimusten ja innovoinnin avulla, sitten demonstroinneilla, seuraavaksi on tarkoitus vaikuttaa lakeihin ja asetuksiin ja lopuksi esitellä markkinoille.





**Kuva 26.** Kestävien, turvallisten ja suojattujen toimitusketjujen etenemissuunnitelma. Muokattu lähteestä [22]

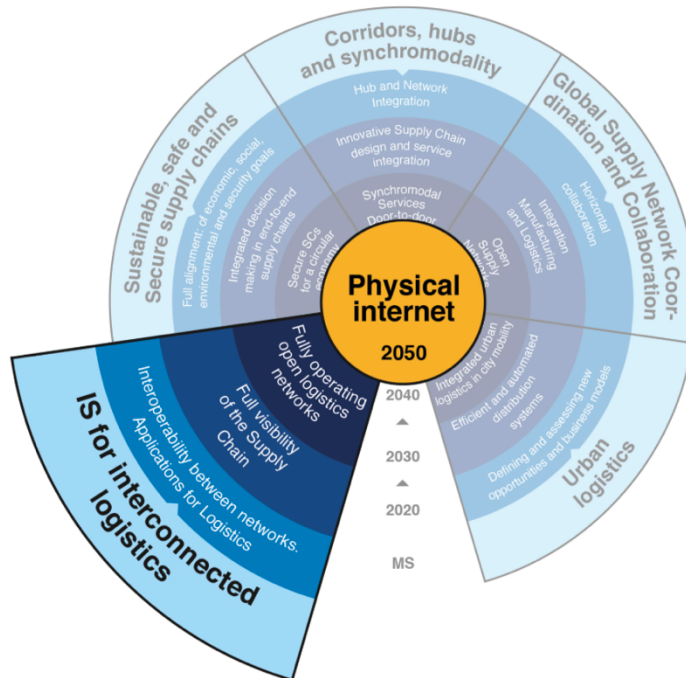
Kuvassa 26 on kerrottu kestävien, turvallisten ja suojattujen toimitusketjujen kategorian etenemissuunnitelma. Etenemissuunnitelman aikajänteeksi on otettu nykyhetkestä vuoteen 2050 ja se on jaettu viiteen portaaseen. Pääkohtia näissä portaissa on ensimmäisessä, vuoden 2020 portaassa tavoitteena on yhdenmukaistaa taloudellisten, ympäristöllisten, sosiaalisten ja turvallisuustavoitteiden tavoitteet. Seuraavassa, vuoden 2033 portaassa on tarkoitus ottaa käyttöön toimitusketjun päätöksenteon automatisointi. Vuoden 2040 portaassa on tarkoitus ottaa käyttöön toimitusketjut jotka ottavat huomioon sosiaaliset tekijät, taloudelliset tekijät ja ympäristölliset tekijät. Viimeinen askel on Fyysisen internetin implementointi vuonna 2050.



**Kuva 27.** Yhdyskäytävien, hubien ja synkromodaalisuuden etenemissuunnitelma. Muokattu lähteestä [23]

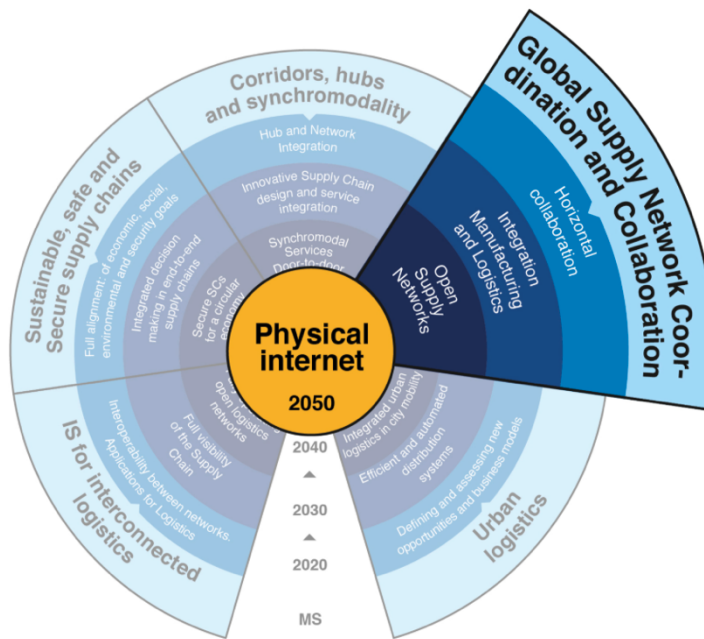
Toisen kategorian etenemissuunnitelma on esitetty Kuvassa 27. Tämä aihealue keskittyy siihen kuinka suurin osa Euroopan alueesta saadaan tehokkaaksi ja suorituskykyiseksi ja kuinka Fyysisen internetin mallia voidaan hyödyntää tavarakuljetusten toimitusketjuissa. Tämä tapahtuisi vastaavasti viiden askeleen avulla siten että tähtäimessä on Fyysisen internetin käyttöönotto vuonna 2050. Ensimmäinen askel on vuonna 2020 hubien ja verkkojen käyttöönotto strategisella tasolla. Toisen askeleen kohdalla on tarkoitus vuoden

2030 kohdalla saattaa käyttöön synkromodaalisuuteen pohjautuvat innovatiiviset toimitusketjujen suunnittelut. Viimeisessä askeleessa vuonna 2040 ja ennen Fyysisen internetin käyttöönottoa on tarkoitus päästä synkromodaalisuuteen, eli siihen että intermodaalisuuden hyödyntämiseen siten että lähetykset ohjautuvat reaaliaikaisesti ja läpinäkyvästi.



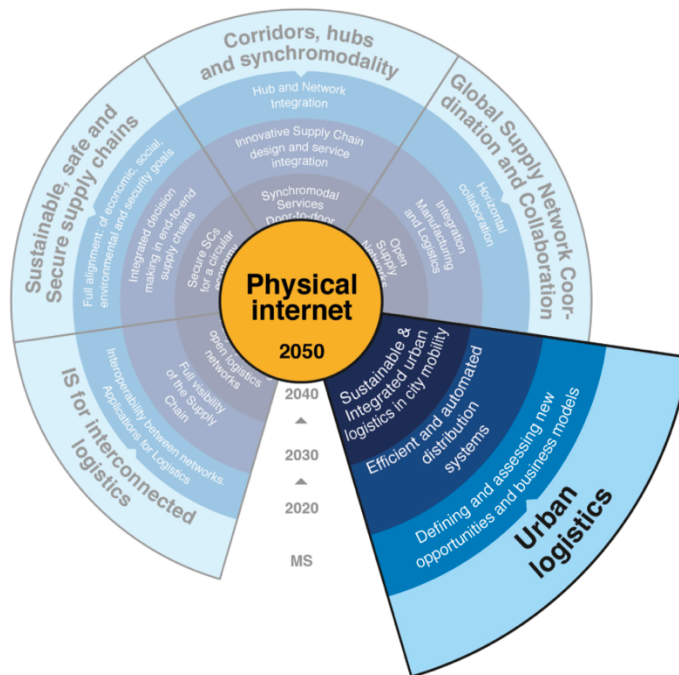
**Kuva 28.** Yhteenliitetyn logistiikan järjestelmien ja teknologioiden etenemissuunnitelma. Muokattu lähteestä [24]

Kun tarkoituksena on tuottaa, kuljettaa, varastoida, jaella ja käyttää mahdollisimman tehokkaasti ja kestävästi talouden, ympäristön ja sosiaalisten tekijöiden kannalta, on tärkeää että järjestelmät ja teknologiat tukevat tavoitetta. Tarkoituksena tämän kategorian kehitystyössä on tutkia teknologioita ja järjestelmiä jotka ovat turvallisia, joustavia, mahdollistavat hyvän riskienhallinnan, järjestelmän valvonnan, raja-valvonnan ja tullauksen, läpinäkyvyyden, älykkään tiedonsiirron ja automatisoidut operaatiot. Askeleita tavoitteeseen ovat vuonna 2020 yhteentoimivuus verkkojen ja logistiikan sovellusten välillä. 2030 on tarkoitus saavuttaa toimitusketjun läpinäkyvyys. 2040 viimeisenä askeleena ennen Fyysistä internetiä vuonna 2050, on tarkoitus ottaa askel kohti täysin toimivia avoimia logistiikan verkkoja. Kuvassa 28 on kuvattu nämä askeleet ja etenemissuunta askeleiden saavuttamiseksi.



**Kuva 29.** Etenemissuunnitelma globaalien jakeluverkon koordinoinnille ja yhteistyölle. Muokattu lähteestä [25]

Kuvassa 29 on suunnitellun etenemissuunnitelman askeleet globaalien jakeluverkon koordinoinnille ja yhteistyölle kohti fyysistä internetiä. Kategoria koostuu kahdesta osa-alueesta, Jakeluverkon koordinoinnista ja jakeluverkon yhteistyöstä. Jakeluverkon koordinoinnilla tarkoitetaan tässä sitä kuinka toimitukset pohjautuvat dynaamiseen ja synkronoituun järjestelmään joka hallitsee kuljetussuunnitelmaa. Etenemissuunnitelmana on että vuonna 2020 horisontaalinen yhteistyö. Tällä viitataan yhteistyöhön yritysten kesken jotka ovat logistisesti vastaavia toimitusketjun ja kysynnän puolesta. Vuonna 2030 on tarkoitus ottaa seuraava askel, joka on tuotannon ja logistiikan yhdistyminen. Tällä tarkoitetaan uusia lähestymistapoja ja tekniikoita valmistamiseen ja logistiikan malleja joissa hyödynnetään tuotteille yhteisiä, yleisiä resursseja, jotta saavutetaan ketterämpi, modulaarisempi ja keskitetty tuotanto. Vuonna 2040 on tarkoitus ottaa seuraava etenemissuunnitelman askel ja se on avoimien jakeluverkkojen käyttöönottoa.



**Kuva 30.** *Urbaanin logistiikan etenemissuunnitelma Fyysisen internetin käyttöönotoksi. Muokattu lähteestä [26]*

Viidennessä ja viimeisessä kategoriassa käsitellään urbaania tavaraliikennettä. Tätä on kuvattu Kuvassa 30. Tällä käsitetään kaikki tavaraliikenne kaupunkeihin, kaupungeista, kaupunkien läpi tai urbaanin alueen sisällä. Ensimmäisenä askeleena tässä kategoriassa on määritellä ja arvioida uusia mahdollisuuksia urbaanissa logistiikassa vuoteen 2020 mennessä. Seuraavana askeleena vuonna 2030 on tehokkaiden ja automatisoitujen jakelujärjestelmien käyttöönotto. Vuoden 2040 tavoitteena on kestävän ja integroidun kaupunkilogistiikan luominen.

Näistä kategorioista saadaan siis tuloksena, että vuoteen 2020 mennessä tavoitteena on taloudellisten, ympäristöllisten, sosiaalisten ja turvallisten tavoitteiden saavuttaminen. Vuonna 2030 tavoitteena on saavuttaa Fyysisen internetin mallin mukainen toimitusketjun hallinta. Vuoteen 2040 mennessä olisi tavoitteena kiertotalouden mukaisesti toimiva turvallinen ja suojattu toimitusketju, ja lopuksi vuonna 2050 Fyysisen internetin käyttöönotto. [18]

## 4.2 Soveltaminen Suomeen

Tässä osiossa pohditaan Fyysistä internetiä Suomen näkökulmasta. Fyysisen internetin kehityskaari on vasta alussa ja mallin mahdollinen hyödyntäminen olisi mahdollista vasta pitkän aikajänteen kuluttua, kuten ALICE:n etenemissuunnitelmasta voidaan todeta. Tämä luo haasteen sekä yleisesti, että Suomen kannalta, koska kuljetustarpeita määrittää

hyvin pitkälle talouden ja toimialojen kehitys. Suomen ja globaalin talouden kehitykset ovat hyvin vaikeasti ennakoitavissa. Tavaraliikenne Suomessa pohjautuu rautatie-, tie- ja vesikuljetuksille. Rautatiekuljetukset ovat voimakkaimmin kytköksissä muutamaa toimialaa, kuten metalli-, metsä- ja kemianteollisuuteen, ja Venäjän liikenteeseen. Vuonna 2015 Liikenneviraston mukaan rautatieliikenteellä oli noin 30 % osuus kotimaan kuljetussuoritteista [80]. Tiekuljetuksilla on vahva pohja ja noin 60 % osuus kotimaan kuljetussuoritteista. Vesiliikenteen osuus jää alle 10 % kotimaan kuljetussuoritteista. Viennin ja tuonnin kohdalla meriliikenteellä on suurin merkitys. Tilastoinnin kannalta ongelmallisia ovat monen kuljetustavan kuljetukset. Kehityssuuntana voidaan nähdä tavaraliikenteessä konttien käytön lisääntyminen ja kuljetuskustannusten nousu. [27]

Suomen näkökulmasta fyysisellä internetillä on vastaavat haasteet kuin mallilla yleisestikin ottaen. Ratkaistavana on useita haasteita ja kysymyksiä. Tällä hetkellä puuttuvat selkeät fyysisen internetin malliin kuuluvien fyysisten esineiden mallit ja siten on vaikea arvioida niiden soveltuvuutta Suomen kuljetusolosuhteisiin ja infrastruktuuriin. Haasteena on myös Suomen liiketoimintaympäristö. Fyysisen internetin malli vaatisi huomattavan sitoutumisen yrityksiltä sekä taloudellisesti, että ajatus- ja arvomaailmallisesti. Myös lainsäädännön tulisi tukea fyysistä internetiä rajavalvonnan ja tullauksen osalta. Kasvavien kuljetusmäärien ja modulaarisen pakkaamisen voidaan olettaa aiheuttavan suurempaa työmäärää tullauksen ja rajavalvonnan kohdalla ja työmäärän voi olettaa myös lisääntyvän, mikäli naapurivaltio ei hyödynnä fyysistä internetiä. Järjestelmien valvonnan, hallinnan ja siihen pääsy vaatii myös selvitystä. Myös kaavoituksen ja infrastruktuurin tuki fyysisen internetin mallille tulisi ottaa huomioon. Erilaiset kuljetusmäärät ja niiden suuntautumisten mahdolliset epätasapainot ovat haaste Suomenkin mittakaavassa.

Haasteista huolimatta fyysinen internet sisältää myös mahdollisuuksia parantaa tavarakuljetusta Suomessa. Mallissa on lukuisia mahdollisuuksia, vaikka sitä ei toteutettaisi täysimittaisena. Näitä mahdollisia vaikutuksia voidaan tarkastella neljän kategorian avulla. Näitä kategorioita ovat pakkaaminen, automatisointi, kuljetussuunnittelu ja läpinäkyvyys. Konttien käyttö on lisääntymässä Suomessa [28]. Modulaarisella ja standardoidulla pakkaamisella voidaan saavuttaa yhdenmukainen kuormankäsittely ja kuljettaminen joka mahdollistaa omalta osaltaan horisontaalisen yhteistyön. Modulaarinen pakkaaminen kuitenkin lisää omalta osaltaan pakkaamisen määrää ja kuormankäsittelyn määrää. Kuormankäsittelyä voidaan kuitenkin suorittaa automatisoituna. Se on tutkimusten kohteena fyysisen internetin tapauksen lisäksi myös muuten ja sillä on mahdollisuus vaikuttaa positiivisesti. Kuljetustensuunnittelulla on potentiaali vaikuttaa positiivisesti kuljetuksiin jo fyysisen internetin mallin etenemissuunnitelman mukaisella ensimmäisellä askeleella kohti horisontaalista yhteistyötä. Samoin läpinäkyvyydellä on todettu olevan positiiviset vaikutukset ja kuljetusala hyötyisi siitä. [18]

## 5. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää mitä tarkoitetaan Fyysisellä internetillä, Mitkä ovat Fyysisen internetin vaikutuksia toimitusketjuihin ja Voidaanko Fyysistä internetiä hyödyntää Suomessa. Tutkimus toteutettiin kirjallisuusanalyysinä, sisältäen kahden simulaatiotutkimuksen analyysit. Tutkimuksessa tutustuttiin Fyysisestä internetistä julkaistuihin tieteellisiin julkaisuihin, lehtiartikkeleihin ja aiheesta kirjoitettuun kirjaan. Lisäksi tutustuttiin aiheesta tehtyihin simulaatiotutkimuksiin, joita analysoitiin paremman tuloksen aikaansaamiseksi.

Fyysinen internet on käsitteenä melko uusi ja termi on ollut käytössä vasta vähän aikaa. Fyysisestä internetistä on siitä huolimatta tuotettu tuhansia sivuja teoriaa. Teorian taustalla on pääosin muutama avainhenkilö, mutta teoria on kerännyt taustalle myös suuren määrän tukijoita niin tiedemaailmasta, kuin elinkeinoelämästä. Fyysisen internet –käsite pohjautuu analogialle digitaalisesta internetistä jonka keinovalikoimalla käsitellään fyysisiä esineitä. Fyysisen internetin malli pohjautuu ajatukseen modulaarisesta pakkaamisesta, näiden pakkausten käsittelystä erityisesti niille tarkoitetuilla koneilla ja laitteille mahdollisuuksien mukaan automoituna ja erityisesti näille tarkoitetuissa jakelukeskuksissa. Kuljettaminen tapahtuisi siten että nämä modulaariset pakkaukset kuljetettaisiin modulaaristen konttien sisällä ja intermodaalikuljetukset mahdollistavilla tie- rautatie- ja vesiliikenteenä solmupisteestä toiseen. Fyysisten objektien lisäksi Fyysisen internetin mallista on oleellista standardisointi ja läpinäkyvyys myös järjestelmissä. Tarkoitus on että Fyysisen internetin kuljetuksen reititystä solmupisteestä solmupisteeseen optimoidaan järjestelmän avulla koko kuljetuksen ajan ja järjestelmä päättää jokaiselle paketille optimaalisen reitityksen. Konttien on tarkoitus hyödyntää digitaalista tietoa edellä mainittujen ominaisuuksien mahdollistamiseksi.

Simulaatiotutkimusten perusteella Fyysisellä internetillä on mahdollisuudet vaikuttaa kuljetuksiin kuljetettua matkaa, hintaa ja hiilidioksidipäästöjä alentaen kuljetusmäärien kustannuksella. Huomionarvoista on myös kuljettajien sosiaalisten olojen paraneminen. Vastaavia tuloksia voidaan löytää myös muita tieteellisiä julkaisuja arvioimalla. On kuitenkin huomattava, että julkaisuissa tutkitut mallit ovat äärimmilleen yksinkertaistettuja ja niissä jätetään huomiomatta joitain tekijöitä, kuten paluukuljetuksia ja pakkausten ja konttien muodostamien tavaravirtojen epätasapainoa. Julkaisuissa ei myöskään ole vielä annettu yksityiskohtaisia suunnitelmia fyysisten objektien toteuttamiseen. Lähimmäksi on päässyt Moduluscha prototyypillään  $\pi$ -pakkauksesta. Julkaisuissa ei myöskään ole otettu kantaa etp-ALICEa lukuunottamatta miten Fyysinen internet olisi mahdollista implementoida. Etp-ALICE on julkaissut etenemissuunnitelman Fyysisen internetin käyttöönottoa vuonna 2050 varten, mutta suunnitelma sisältää runsaan tarpeen jatkotutkimuk-

sille ennen mahdollisuutta ottaa yhtään näistä viidestä askeleesta kohti Fyysisen internetin toteuttamista. Fyysisen internetin mallin käyttöönotto vaatisi myös laajan tuen ja hyväksynnän sekä viranomaisilta että liike-eläältä.

Fyysisen internetin hyödyntäminen Suomessa sisältää vastaavia haasteita kuin mallissa yleisesti ottaen. Ylipäättänsä tulevaisuuden kuljetustarvetta on hankalaa ennakoida. Kuljetustarpeet määräytyvät hyvin pitkälle talouden ja toimialojen kehityksen perusteella. Suomessa ulkomaankuljetukset pohjautuvat suurelta osin merikuljetuksiin ja kotimaan tavaraliikenne tieliikenteeseen. Rautatieliikenne elää murroksessa kilpailulle avautumisen suhteen, mutta investointien hinnat ovat kovia rautateillä ja VR hallitsee tavaraliikennettä. Nämä tekijät saattavat vaikeuttaa Fyysisen internetin mahdollista implementointia Suomessa. Suomessa voitaisiin kuitenkin hyötyä Fyysisen internetin osa-alueiden tuomista hyödyistä, kuten horisontaalisesta yhteistyöstä, kuljetuksien läpinäkyvyydestä ja kuljetussuunnittelusta.

Fyysistä internetiä arvioitaessa on huomioitava myös siitä kirjoitetut julkaisut. Julkaisujen laadun perusteella Fyysinen internet on siirtymässä elinkaarensa seuraavaan vaiheeseen. Tutkimukset alussa keskittyivät vain määrittelemään mallia, kun nyt tutkimusten suunta on kääntymässä simulaatioihin.

Logistiikan kannalta kiteytettynä Fyysisellä internetin vaikutuksena on työn siirtäminen kuljettamisesta pakkausten ja konttien käsittelyyn. Fyysisen internetin mallilla on potentiaalia jonka realisoituminen riippuu monesta tekijästä, kuten teknisten haasteiden ongelmanratkaisusta ja sidosryhmien hyväksynnästä. Jatkotutkimuksia tulisi kohdentaa erityisesti tarkempiin simulaatiotutkimuksiin.

## LÄHTEET

- [1] B. Trebilcock, Physical Internet Initiative: Pipedream or Possibility?, Logistics Management, March 2012. Saatavissa: [http://www.logisticsmgmt.com/article/physical\\_internet\\_initiative\\_pipedream\\_or\\_possibility/sustainability](http://www.logisticsmgmt.com/article/physical_internet_initiative_pipedream_or_possibility/sustainability)
- [2] B. Montreuil, Towards a Physical Internet: Meeting the global logistics sustainability grand challenge, Logistics Research 3, May 2011.
- [3] M. Lounès, B. Montreuil, Towards a worldwide Physical Internet, TU International, 2011.
- [4] R. Sarraj, E. Ballot, S Pan, B. Montreuil, Analogies between Internet network and logistics service networks: challenges involved in the interconnection, J Intell Manuf. 2014, pp. 1207–1219.
- [5] E. Ballot, R. Meller, B. Montreuil, The Physical Internet, La Documentation française, 2015, pp. 465
- [6] Physical Internet Initiative: Physical Internet Manifesto, 2012. Saatavissa: [www.physicalinternetinitiative.org](http://www.physicalinternetinitiative.org)
- [7] B. Montreuil, E. Ballot, W. Trembley, Modular Design of Physical Internet Transport, Handling and Packaging Containers, Progress in Material Handling Research, 2014.
- [8] E. Ballot, R. Meller, B. Montreuil, C. Thivierge, Z. Montreuil, Functional Design of Physical internet Facilities: A Road-Based Crossdocking hub, Progress in Material Handling Research 2012, 2012.
- [9] Microsoft Corporation: X-box 360. Saatavissa: [www.microsoft.com](http://www.microsoft.com)
- [10] The RAJA Group: RAJAPACK. Saatavissa: [https://www.rajapack.co.uk/stretch-film-palletising/stretch-machines/ecoplat-base-stretch-film-machine\\_OFF\\_UK\\_0148.html](https://www.rajapack.co.uk/stretch-film-palletising/stretch-machines/ecoplat-base-stretch-film-machine_OFF_UK_0148.html)
- [11] T. Mäkelä, Konttiliikenne ja sen tulevaisuus intermodaalikuljetusten näkökulmasta Suomessa, Tampereen teknillinen yliopisto, Tiedonhallinnan ja logistiikan laitos, 2009.
- [12] Vinalogs Co.: Container Transportation. Saatavissa: <http://www.container-transportation.com/20-foot-shipping-container.html>



- [13] Teemu Uusi-Esko: Muutama esimerkki kuormansidonnasta. Saatavissa: <http://personal.inet.fi/koti/teemu.uusi-esko/cars/sidonta.htm>
- [14] B. Montreuil, E. Ballot, F. Fontane, An Open Logistics Interconnection model for the Physical Internet, CIRRELT, Université Laval.
- [15] R. Sarraj, E. Ballot, S. Pan, D. Hakimi, B. Montreuil, Interconnected logistic networks and protocols: simulation-based efficiency assessment. Int Journal Production Research, 2013.
- [16] H. Zijm, M. Klumpp, U. Clausen, M. ten Hompel, Logistics and Supply Chain Innovation, Dutch Institute for Advanced Logistics, 2016, pp. 34-41
- [17] Modular Logistics Units in Shared Co-Modal Networks: MODULUSHCA. Saatavissa: <http://www.modulushca.eu>
- [18] PHYSICAL INTERNET Förstudie, CLOSER, Swedish Mobilization in Logistics & Transport, 2016.
- [19] R. Domański, M. Adamczak, P. Cyplik, Physical internet (PI): a systematic literature review. LogForum 14, 2018. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.17270/J.LOG.2018.269>
- [20] Y. Yang, S. Pan, E. Ballot, Innovative vendor-managed inventory strategy exploiting interconnected logistics services in the Physical Internet, International Journal of Production Research, 2017.
- [21] Alliance for Logistics Innovation through Collaboration in Europe: ETP-Alice. Saatavissa: <http://www.etp-logistics.eu>
- [22] ALICE, Sustainable, Safe and Secure Supply Chain research & innovation roadmap, 2014.
- [23] ALICE, Corridors, Hubs and Synchromodality, Research and Innovation Roadmap, 2016.
- [24] ALICE, Information Systems for Interconnected Logistics, Information Systems for Interconnected Logistics, Research and Innovation Roadmap, 2014.
- [25] ALICE, Global Supply Network Coordination and Collaboration, Research and Innovation Roadmap, 2014.
- [26] ALICE, Urban Freight, Research and Innovation Roadmap, 2015.

- [27] Liikennejärjestelmä.fi: Kotimaan tavaraliikenne. Saatavissa: <http://liikennejarjestelma.fi/palvelutaso/liikennetyypit/kotimaan-tavaraliikenne>
- [28] T. Luukkonen, T. Mäkelä, M. Pöllänen, H. Kalenoja, J. Mäntynen, J. Rantala, Henkilö- ja tavaraliikenteen kehityskuva 2035, Taustaraportti liikennepoliittiseen keskusteluun, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 36/2012, 2012.